

平成21年 4月30日現在

研究種目：特定領域研究  
 研究期間：2005～2008  
 課題番号：17067007  
 研究課題名（和文） ソリトン、ポーラロンによる共役ポリマーデバイスの機能発現とその制御  
 研究課題名（英文） Solitons and polarons in conjugated-polymer electron devices and their functionalities  
 研究代表者  
 黒田 新一（KURODA SHIN-ICHI）  
 名古屋大学・大学院工学研究科・教授  
 研究者番号：20291403

## 研究成果の概要：

共役ポリマーデバイスは、電界発光素子やトランジスタ、太陽電池などへ応用が注目されている。本研究では、高感度のマイクロ検出手法である電子スピン共鳴（ESR）法を共役ポリマーデバイスへ適用し、デバイス中での電荷キャリアがスピンと電荷を持つポーラロンであること、また高キャリア濃度では、スピンをもたないバイポーラロンへと転化することを明らかにした。さらにキャリアの存在する有機界面活性層における分子配向や、キャリア波導関数などのマイクロ情報の重要性を確立することに成功した。

## 交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	9,800,000	0	9,800,000
2006年度	9,800,000	0	9,800,000
2007年度	6,100,000	0	6,100,000
2008年度	5,500,000	0	5,500,000
総計	31,200,000	0	31,200,000

研究分野：磁気共鳴・有機固体

科研費の分科・細目：物理学・物性I

キーワード：共役ポリマー、フラレン、電子スピン共鳴、ソリトン、ポーラロン、バイポーラロン、電界効果デバイス

## 1. 研究開始当初の背景

共役ポリマーは、薄膜化が容易であり、電界発光（EL）素子、電界効果トランジスタ（FET）、太陽電池などのデバイスにおける、軽量、安価かつ高効率の素材物質として注目される。ポリマー中でスピンや電荷を運ぶ担体として、ソリトン、ポーラロン等の非線形素励起が注目され、これまで多くの研究がな

されてきた。電子スピン共鳴（ESR）は、常磁性素励起のスピンを高感度に検出する手法であり、ポリアセチレンのソリトンの空間形状の決定などをはじめとして、共役ポリマー材料中のソリトン、ポーラロンの研究で、他の手法では得られないマイクロ情報を与えてきた。EL、FETをはじめとする共役ポリマーデバイス中の電荷キャリアは、スピンと電

荷をもつポーラロンと考えられている。そこで、デバイス中でのポーラロンをその場観測することが出来れば、デバイスでの電子過程やそれによる機能発現について本質的な情報を得ることが期待される。このような観点から、我々は ESR による有機デバイス中のキャリアの研究に取り組み、高移動度ポリマー材料である、立体規則性ポリアルキルチオフェン (RR-P3AT) を用いた金属 - 半導体 - 絶縁体 (MIS) デバイス構造を作製し、その中に電界注入されたキャリアの ESR 信号検出に初めて成功した状況にあった。本研究では、この独創的な手法の展開により、共役ポリマーデバイスの機能発現機構をキャリアのミクロ観測の観点から強力に推進することが主要な研究目標であった。

## 2. 研究の目的

これまで、ポリマーデバイス中の電荷キャリアについての知見は、主に光学的手法が適用されてきたが、ESR はキャリアのスピンを直接観測できる唯一の手法である。共役ポリマーの電荷キャリアが、スピンと電荷を持つポーラロンであることを、高移動度の共役系ポリマーである RR-P3AT の MIS デバイスや、比較として、高移動度の共役低分子ペンタセンの MIS デバイスの測定により確認することを第一の目的とした。

電荷注入キャリアの ESR (電場誘起 ESR) のもう一つの特徴は、ESR 信号がキャリアの注入された絶縁膜界面近傍の有機活性層のミクロ情報を選択的に観測できる点である。この観点から、移動度を支配する要因となる、絶縁膜界面上の有機分子の配向やキャリア波導関数を評価し伝導機構について考察することを第二の目的とした。

共役ポリマーデバイスの重要な応用として、正・負の電荷キャリアが伝導に関与するポリマーとフラーレンの複合体が注目されており、ESR による正・負キャリアの直接観測も研究目的とした。さらに、複合体材料の光励起 ESR により、光キャリアの生成と再結合過程や、光キャリアの波導関数の研究も目標とした。また、新たな研究展開として、FET デバイス動作状態の ESR 観測や、高移動度の単結晶トランジスタの ESR 研究を行った。

## 3. 研究の方法

ESR 観測に用いた RR-P3AT の MIS デバイスとしては、基板と絶縁膜に、それぞれ ESR 信号を出さない石英ガラスとスパッタで作製したアルミナ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 膜を使用した。アルミナ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 膜を用いたデバイス構造に加え、低濃度ドーブしたシリコン基板上に成長した  $\text{SiO}_2$  絶縁膜を用いた MIS デバイスによる ESR 観測にも成功した。デバイスの電気特性から、MIS デバイス界面への電荷の蓄積を確

認した。ESR 信号強度を、標準試料 ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) で校正し、注入スピン数を高精度で求め、これとキャリア数を比較し、キャリアのスピンと電荷の関係を求めた。

電場誘起 ESR スペクトルの角度依存性を、不対  $\pi$  電子の  $g$  値や超微細相互作用による線幅の異方性にもとづき解析することで、高分子と絶縁膜界面における分子配向を評価した。また、ペンタセンでは ESR 線幅の大きさからスピンの広がり (波導関数) を評価した。これらの測定以外にも、高分子・フラーレン複合体デバイスの測定、デバイス動作状態における測定、さらには、単結晶トランジスタの測定などをおこなった。

## 4. 研究成果

### (1) 立体規則性ポリマー-MIS デバイスの ESR

ESR の結果、注入されたキャリア数と ESR 信号から求められるスピン数がよく一致し、注入キャリアがスピンをもつポーラロンであることがミクロに実証された。さらにキャリアの注入量を増加させドーピング濃度約 0.2% を越えると、キャリアがスピンをもつポーラロンからスピンをもたないバイポーラロン (またはポーラロン対) へ変化することがわかった。この変化は、MIS デバイスの絶縁膜の種類 ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  または  $\text{SiO}_2$ ) にはよらず、高分子に固有の現象であることが確認された。

一方、ESR 信号の角度依存性から、キャリアが存在する有機半導体 - 絶縁体界面の有機活性層における分子配向についても直接の知見を得ることが出来た。得られた配向は、基板上にキャスト法で作製された RR-P3HT 薄膜が自己組織化により形成するラメラ構造とよく符合し、薄膜の X 線回折結果を裏付けた。特に  $g$  値の角度依存性については、本特定領域研究 A04 班の阿部修治産総研副研究部門長と下位幸弘主任研究員により密度汎関数 (DFT) 法により計算されたポーラロン波導関数にもとづき、分子配向分布関数を仮定した ESR スペクトルのシミュレーション計算によって定量的にも再現された。

ESR 線幅は、RR-P3AT のアルキル鎖長に対して顕著な依存性を示した。すなわちアルキル鎖の炭素数 (6, 8, 10) が小さいほど線幅が狭くなり、キャリアの移動度が増加する傾向とよく一致した。このことは、線幅がキャリアの熱運動による尖鋭化 (motional narrowing) を起こしていることを示し、ESR 信号がキャリアダイナミクスの研究にも有効なことを示した。

### (2) ペンタセン MIS-FET デバイスの ESR

有機デバイスの ESR 研究は、低分子系の高移動度材料であるペンタセンの MIS-FET デバイス構造でも成功した。デバイスの作製については、東北大学金属材料研究所の岩佐義宏

教授と竹延大志准教授との共同研究で行われた。キャリアのスピンのデバイス界面における分子配向について直接的な情報が得られた。すなわち、注入されたキャリア数とスピン数がよく一致し、キャリアがスピンをもつポーラロンであることがマイクロに実証された。ペンタセンではバイポーラロンへの転移は観測されない。また、絶縁膜界面での分子配向はペンタセン長軸が基板にほぼ垂直になっていることを明らかにした。さらに顕著な結果として、ESR 線幅の大きさから、キャリア波導関数が 10 分子以上に広がっていることを確認し、キャリアの伝導機構がバンド的であることへのマイクロな証拠を得た。

ペンタセンの研究成果は、新聞報道（2006 年 12 月 28 日、日刊工業、日経産業新聞）された。また、この成果等により、研究分担者の丸本一弘筑波大学准教授が、平成 19 年度電子スピンサイエンス学会奨励賞を受賞した。

### (3) 共役ポリマー・フラーレン複合体材料・デバイスの ESR

RR-P3AT・C<sub>60</sub> の MIS デバイスの ESR により、正・負電荷による ESR 信号をはじめ観測することに成功した。正電荷キャリアの信号は高分子の正ポーラロンの信号の g 値（約 2.002）とよく一致し、電場誘起 ESR 信号が、RR-P3AT の正ポーラロンによることをマイクロに裏付けた。一方、負電荷キャリアの信号の g 値（約 1.999）から、C<sub>60</sub> のアニオンラジカルの信号であることが確認された。

現在、C<sub>60</sub> よりさらに溶解度の高いフラーレンである PCBM を用いた複合体デバイスでも正・負キャリアの信号検出に成功している。また、MIS デバイスのトップ電極として Al および Au を採用した場合、仕事関数が小さい Al のほうが電子注入効率が高いことも確認され、本系を用いた太陽電池の研究結果ともよく符合した。

RR-P3AT・C<sub>60</sub> 複合体に対しては、光誘起 ESR により、光誘起電荷キャリアの再結合過程における 4 分子型の再結合過程が観測された。すなわち、この系では、通常に見られる正・負電荷キャリアの 2 分子再結合ではなく、2 個の正電荷キャリアと 2 個の負電荷キャリアの再結合と考えられる 4 分子再結合が観測され、2 個の正電荷キャリアの形成がおりやすいことを示唆し、(1) で述べた MIS デバイスにおける、バイポーラロンないしはポーラロン対の形成を示唆するスピクロスオーバーの観測結果とも符合している。

RR-P3AT・C<sub>60</sub> 複合体では、光誘起 ENDOR の測定から高分子のポーラロンの波動関数の広がり 10 ユニットであることがわかり、東京工業大学の山本隆一教授より提供されたポリチオフェンで得られたポーラロン波動関数の広がり 8 ユニットよりも大きく、

RR-P3AT の分子の平面性が高いこととよく符合する結果を得た。

### (4) 有機デバイス ESR の新たな展開と今後の展望

現在、有機デバイスの ESR では、FET の動作状態でのキャリアの ESR 信号の検出にも成功している。ソース・ドレイン電圧の印加によるキャリア数の変化が、FET 理論の予測とよく一致することがわかり、FET 動作に寄与するキャリアが有機分子に起因することをマイクロに裏付けた。また研究対象を、薄膜材料だけでなく高移動度材料のルブレ単結晶などにもひろげ発展しつつある。

これらの研究により、有機電界効果デバイスの性能に重要な影響を及ぼす、有機活性層のマイクロな電子状態や構造に関する知見が得られ、デバイス制御手法の確立に寄与することが期待される。一方、デバイスの新規機能の開拓の面でも、デバイス構造の開発により、電場誘起キャリアの高濃度の注入が実現すれば、絶縁体・金属転移さらには超伝導の実現の可能性がある。また、高分子 MIS で観測されたポーラロン・バイポーラロン転移は電荷キャリアのスピンを電場で制御する可能性を示しており、スピンエレクトロニクスにも寄与できる。また、FET 構造もボトムコンタクト型の開発がすでに進められており、太陽電池などの有機エレクトロニクス材料や生体関連分子などへも研究が発展すると期待される。

### 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 28 件）

- 1) S. Kuroda, S. Watanabe, K. Ito, H. Tanaka, H. Ito, K. Marumoto, “Electron spin resonance of charge carriers in organic field-effect devices”, Appl. Magn. Reson. in press. 査読有
- 2) S. Watanabe, H. Tanaka, H. Ito, K. Marumoto, S. Kuroda, “ESR studies of ambipolar charge carriers in metal-insulator-semiconductor diodes of regioregular poly(3-hexylthiophene)/PCBM composites”, Synth. Met., **159**, (2009) 893-896. 査読有
- 3) H. Tanaka, S. Watanabe, H. Ito, K. Marumoto, S. Kuroda, “Direct observation of the charge carrier concentration in organic field-effect transistors by electron spin resonance”, Appl. Phys. Lett. **94**, (2009) 103308 (1-3). 査読有

- 4) H. Ito, T. Ishihara, H. Tanaka, S. Kuroda, T. Suzuki, S. Onari, Y. Tanaka, J. Yamada, K. Kikuchi, "Roles of spin fluctuation and frustration in the superconductivity of  $\beta$ -(BDA-TTP)<sub>2</sub>X (X=SbF<sub>6</sub>, AsF<sub>6</sub>) under uniaxial compression", Phys. Rev. B **78**, (2008) 172506 (1-4). 査読有
- 5) H. Ito, T. Ishihara, H. Tanaka, S. Kuroda, J. Yamada, "Uniaxial Compression on the Superconductivity of  $\beta$ -BDA-TTP Salts", J. Phys.: Conference Series **132**, (2008) 012012 (1-7). 査読有
- 6) H. Tanaka, H. Nishiyama, S. Kuroda, T. Yamashita, M. Mitsumi, and K. Toriumi, "ESR observations of optically generated solitons in the quasi-one-dimensional iodo-bridged diplatinum complex Pt<sub>2</sub>(n-pentylCS<sub>2</sub>)<sub>4</sub>I", Phys. Rev. B **78** (3), (2008) 033104 (1-4). 査読有
- 7) H. Ito, Y. Niimi, A. Suzuki, K. Marumoto, S. Kuroda, "Photocurrent of regioregular poly(3-alkylthiophene)/fullerene composites in surface-type photocells" Thin Solid Films **516**, (2008) 2743-2746. 査読有
- 8) S. Takaishi, M. Yamashita, H. Matsuzaki, H. Okamoto, H. Tanaka, S. Kuroda, A. Goto, T. Shimizu, T. Takenobu, and Y. Iwasa, "One-Dimensional Bromo-Bridged Ni<sup>III</sup> complexes [Ni(S, S-bn)<sub>2</sub>Br]Br<sub>2</sub> (S, S-bn=2S, 3S-diaminobutane): Synthesis, Physical Properties, and Electrostatic Carrier Doping", Chem. Eur. J. **2008**, 14, 472-477. 査読有
- 9) K. Marumoto, T. Sakamoto, S. Watanabe, H. Ito, S. Kuroda, "Electron Spin Resonance Observation of Gate-Induced Ambipolar Charge Carriers in Organic Devices" Jpn. J. Appl. Phys. **46**(48), (2007) L1191-L1193. 査読有
- 10) 丸本一弘, 黒田新一, 「有機 FET 界面における伝導機構と磁性」、日本物理学会誌第 62 巻 11 号(2007)、851-855. 査読有
- 11) S. Watanabe, K. Ito, H. Tanaka, H. Ito, K. Marumoto and S. Kuroda, "Electron spin resonance observation of gate-induced charge carriers in organic field-effect devices fabricated on silicon substrates", Jpn. J. Appl. Phys. **46**, (2007) L792-L795. 査読有
- 12) H. Tanaka, N. Hasegawa, T. Sakamoto, K. Marumoto and S. Kuroda, "Light-Induced ESR Studies of Quadrimolecular Recombination Kinetics of Photogenerated Charge Carriers in Regioregular Poly(3-alkylthiophene)/C<sub>60</sub> Composites -Alkyl Chain Dependence", Jpn. J. Appl. Phys. **46**, (2007) 5187-5192. 査読有
- 13) 黒田新一, 「有機分子材料の構造と機能 II (高分子系)」、応用物理 第 76 巻 7 号(2007) 795-798. 査読有
- 14) H. Ito, D. Suzuki, H. Watanabe, H. Tanaka, S. Kuroda, 他 10 名 "Metal-insulator transition of charge transfer salts based on unsymmetrical donor DMET and metal halide anions, (DMET)<sub>4</sub>(MCl<sub>4</sub>)(TCE)<sub>2</sub> (M = Mn, Co, Cu, Zn; TCE = 1,1,2-trichloroethane)", J. Am. Chem. Soc. **129**, (2007) 8510-8518. 査読有
- 15) S. Kuroda, K. Marumoto, T. Sakanaka, N. Takeuchi, Y. Shimoi, S. Abe, H. Kokubo, T. Yamamoto, "Electron-nuclear double-resonance observation of special extent of polarons in polythiophene and poly(3-alkylthiophene)", Chem. Phys. Lett. **435**, (2007) 273-277. 査読有
- 16) K. Marumoto, S. Kuroda, T. Takenobu and Y. Iwasa, "Spatial extent of wave functions of gate-induced hole carriers in pentacene field-effect devices as investigated by electron spin resonance", Physical Review Letters **97**, (2006) 256603 (1-4). 査読有
- 17) H. Tanaka, S. Kuroda, T. Yamashita, M. Mitsumi, and K. Toriumi, "ESR studies of the spin dynamics in quasi-one-dimensional iodo-bridged diplatinum complex Pt<sub>2</sub>(n-pentylCS<sub>2</sub>)<sub>4</sub>I", Phys. Rev. B **73**, (2006) 245102. 査読有
- 18) H. Tanaka, T. Mizutani, S. Kuroda, "Control of formation and molecular orientation of J-aggregates in Langmuir-Blodgett films of mixed merocyanine dyes", Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects **284-285**, (2006) 97-102. 査読有
- 19) S. Ukai, S. Igarashi, M. Nakajima, K. Marumoto, H. Ito, S. Kuroda, K. Nishimura, Y. Enomoto, G. Saito, "Molecular-fastener effects on

- transport property of TTC<sub>n</sub>-TTF field-effect transistors”, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* **284-285**, (2006) 589-593. 査読有
- 20) H. Ito, N. Nomura, T. Suzuki, S. Ukai, K. Marumoto, S. Kuroda, “Photocurrent of thin-film cells of regioregular polyalkylthiophene/C<sub>60</sub> composites”, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* **284-285**, (2006) 613-616. 査読有
- 21) K. Marumoto, Y. Nagano, T. Sakamoto, S. Ukai, H. Ito and S. Kuroda, ”ESR studies of field-induced polarons in MIS diode structures with self-organized regioregular poly(3-hexylthiophene)”, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* **284-285**, (2006) 617-622. 査読有
- 22) H. Ito, M. Hanada, H. Tanaka, S. Kuroda, M. Mitsumi, K. Toriumi, “Conduction Anisotropy of the Halogen-Bridged Metal Complex Pt<sub>2</sub>(n-butylCS<sub>2</sub>)<sub>4</sub>I”, *J. Phys. Soc. Jpn.* **74**(12), (2005) 3334-3339. 査読有
- 23) S. Ukai, H. Ito, K. Marumoto, S. Kuroda, ”Electrical conduction of regioregular and regiorandom poly(3-hexylthiophene)s doped with iodine”, *J. Phys. Soc. Jpn.* **74**, (2005) 3314-3319. 査読有
- 24) K. Marumoto, Y. Muramatsu, Y. Nagano, T. Iwata, S. Ukai, H. Ito, S. Kuroda, Y. Shimoi and S. Abe, ”Electron spin resonance of field-induced polarons in regioregular poly(3-alkylthiophene) using metal-insulator-semiconductor diode structures”, *J. Phys. Soc. Jpn.* **74**, (2005) 3066-3076. 査読有
- 25) K. Marumoto, Y. Muramatsu, S. Ukai, H. Ito and S. Kuroda, “ESR observations of electric-field-induced polarons in regioregular poly(3-alkylthiophene)s in MIS diode structures”, *Synthetic Metals* **154**, (2005) 45-48. 査読有
- 26) 丸本一弘, 黒田新一, 「高移動度導電性高分子ポリチオフェンのMIS構造を用いた電界注入ポーラロンのESR観測」、電子スピンスイエンズ学会誌、第3巻第1号(2005) 25-31. 査読有

その他 2件

[学会発表] (計 96 件)

- 1) S. Kuroda, “ESR observations of charge carriers in regioregular poly(3-hexylthiophene) field-effect devices”, 18<sup>th</sup> Iketani Conference, “International conference on control of super-hierarchical structures and innovative functions of next-generation conjugated polymers”, Awaji, October 22, (2008) (Oral)
- 2) S. Watanabe, “ESR studies of ambipolar charge carriers in MIS diodes of regioregular poly(3-hexylthiophene)/PCBM composite”, 18<sup>th</sup> Iketani Conference, “International conference on control of super-hierarchical structures and innovative functions of next-generation conjugated polymers”, Awaji, October 22, (2008) (outstanding student poster award)
- 3) S. Kuroda, “Electron spin resonance of charge carriers in organic field-effect devices” 6<sup>th</sup> Asia Pacific EPR/ESR Symposium (APES 2008), Cairns, Australia, July 13-18, 2008. (Plenary Lecture)
- 4) K. Marumoto, “Development of A New Method for Studying Microscopic Properties of Organic Devices by Electron Spin Resonance”, A Joint Conference of the International Symposium on Electron Spin Science and the 46th Annual Meeting of the Society of Electron Spin Science and Technology (ISESS-SEST2007), Shizuoka, Japan, November 8, November 6-9, 2007. (Invited)
- 5) S. Kuroda, “Electron Spin Resonance of Charge Carriers in Organic Field-Effect Devices - Carrier Wavefunctions and Molecular Orientations at Device Interface”, 12th International Conference on Organized Molecular Films (LB-12), Kraków, Poland, July 3, July1-5, 2007. (Oral)
- 6) S. Kuroda, “Electron Spin Resonance of Charge Carriers in Organic Thin-Film Devices”, The 1st International Workshop on Super-Hierarchical Structures, Osaka, March 18, 2007.
- 7) H. Ito, “Photocurrent of Regioregular Poly(3-alkylthiophene)/Fullerene Composites in Surface-Type

- Photocells”, The 7th Int. Conf. on Nano-Molecular Electronics (ICNME 2006), Kobe, Japan, December 13-15, 2006.
- 8) K. Marumoto, “ESR Studies of Gate-Induced Hole Carriers in Organic Field-Effect Devices”, KINKEN Workshop on Organic Field Effect Transistors, Sendai, Japan, October 20-21, 2006. (Invited)
- 9) S. Kuroda, “ESR Observation of Charge Carriers in Organic Thin-Film Devices”, Sendai-Berlin-Novosibirsk 2006 Joint Seminar on Advanced EPR, August 28-31, 2006, Novosibirsk, Russia (Invited)
- 10) S. Kuroda, “Electron spin resonance of field-induced polarons in MIS diode structures and polaron-bipolaron transformation at high doping levels”, Int. Conf. on Science and Technology of Synthetic Metals 2006 (ICSM 2006), Dublin, Ireland, July 2-7, 2006.
- 11) S. Kuroda, “Electron Spin Resonance Observation of Charge Carriers in Conjugated-Polymer Thin-Film Devices”, 3rd IUPAC-sponsored International Symposium on Macro- and Supramolecular Architectures and Materials (MAM-06): Practical Nano-Chemistry and Novel Approaches, Tokyo, Japan, May 28-June 1, 2006. (Oral)
- 12) S. Kuroda, “Electron Spin Resonance Spectroscopy of Charge Carriers in Organized Molecular Thin-Film Devices”, The 11th Int. Conf. on Organized Molecular Films (LB11), Sapporo, Japan, June 26-30, 2005.
- 13) K. Marumoto, “ESR studies of field-induced polarons in MIS diode structures with self-organized regioregular poly(3-hexylthiophene)”, The 11th Int. Conf. on Organized Molecular Films (LB11), Sapporo, Japan, June 26-30, 2005.
- 14) H. Ito, “Photocurrent of the thin film cells of regioregular polyalkylthiophene/C<sub>60</sub> composites”, The 11th Int. Conf. on Organized Molecular Films (LB11), Sapporo, Japan, June 26-30, 2005.

その他 国際会議 20 件、国内会議 62 件

〔図書〕(計 5 件)

- 1) 丸本一弘、 「ペンタセン FET の伝導機構」、低分子有機半導体の高性能化、(サイエンス&テクノロジー、東京、2009) 第 1 章第 3 節.
- 2) 黒田新一、伊東裕、田中久暁、丸本一弘、 「次世代共役ポリマーの超階層制御と革新機能」 第Ⅲ編第 2 章 pp 243-249、シーエムシー出版 2009 年 1 月
- 3) 丸本一弘、「有機薄膜太陽電池の高効率化と耐久性向上」第 9 章第 3 節 (339-349 頁) サイエンス&テクノロジー (2009)
- 4) 丸本一弘、黒田新一、「有機トランジスタ材料の評価と応用Ⅱ」シーエムシー出版 「有機トランジスタ材料の評価と応用Ⅱ」、第 3 篇 2 章 146-164、2008.
- 5) 伊東 裕、黒田新一、「最新 導電性高分子 全集」、第 4 章 1 節、技術情報協会、2007.

〔その他〕

新聞報道

2006 年 12 月 28 日、日刊工業、日経産業新聞

受賞

丸本一弘、平成 19 年度電子スピンスイェンス学会奨励賞 (電子スピン共鳴を用いた有機デバイスのマイクロ特性評価法の開発)

ホームページ

<http://www.nuap.nagoya-u.ac.jp/~kurodalab/ESRdevice/ESRdevice-index.htm>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

黒田 新一 (KURODA SHIN-ICHI)  
名古屋大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号：20291403

### (2) 研究分担者

伊東 裕 (ITO HIROSHI)  
名古屋大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号：10260374

丸本 一弘 (MARUMOTO KAZUHIRO)  
筑波大学・数理物質科学科・准教授  
研究者番号：50293668