

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 4 月 1 日現在

機関番号：12501  
研究種目：基盤研究（A）  
研究期間：2008～2011  
課題番号：20245039  
研究課題名（和文） 有機薄膜・界面構造の精密制御による電子構造と電荷輸送物性の統一的解明  
研究課題名（英文） Unraveling charge transport property and electronic states of organic thin films and their interfaces with structure-controlled films  
研究代表者  
上野 信雄（UENO NOBUO）  
千葉大学・大学院融合科学研究科・教授  
研究者番号：40111413

## 研究成果の概要（和文）：

有機半導体のホッピング移動度とバンド移動度等、電荷移動度機構を高精度紫外光電子分光法で研究する方法論、さらに超高感度紫外光電子分光装置(UPS)の製作により有機デバイス界面でのエネルギー準位接合を保障するバンドギャップ中のこれまで観測できなかった電子準位の測定を実現した。また、超高感度 UPS が埋もれた界面を直接検出出来ることを見出した。これらによって、有機半導体の電荷輸送と電子状態とを直接的に関連づけることに成功し、当初目的を達成した。

## 研究成果の概要（英文）：

We developed experimental method in investigating quantum chemical mechanism of the charge mobility, namely hopping and band transport mobility, and origin of the energy level alignment at interfaces in organic devices using high-precision ultraviolet photoelectron spectroscopy (UPS). The latter was realized by constructing ultrahigh-sensitivity UPS spectrometer that is effective to observe invisible electron density-of-states in the organic band gap even for radiation sensitive organic materials. We further found that the ultrahigh sensitivity UPS can also probe varied interfaces. Based on these results, we succeeded to directly bridge charge transport property and electronic states in organic semiconductors.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	11,200,000	3,360,000	14,560,000
2009 年度	9,000,000	2,700,000	11,700,000
2010 年度	8,900,000	2,670,000	11,570,000
2011 年度	7,800,000	2,340,000	10,140,000
年度			
総計	36,900,000	11,070,000	47,970,000

## 研究分野：化学

科研費の分科・細目：材料化学・機能材料・デバイス

キーワード：有機半導体、有機薄膜、界面、電気伝導、電荷移動度、光電子分光、電子状態

## 1. 研究開始当初の背景

有機デバイス性能の向上のために電極/有機薄膜界面の解明が 1990 年代以降の研究の主要課題であり、多くのグループが有機薄

膜・界面の研究に参入して活発な研究が行われてきた。しかし、Si などの無機半導体にはない「有機固有の特徴・機能」が依然として見えてこないという問題や、関連して弱い相

相互作用を基本とする有機薄膜に固有の特徴が未解明のまま残されていた。本代表研究者は、約 20 年前から有機界面、有機薄膜中の電荷の動的素過程を解明すべく不活性基板表面上の有機薄膜のナノ・マイクロ構造と電子状態の精密制御による研究に着手し、(i) 電荷移動度に直結した「電導ホールと分子振結合」の測定(Kera et al. and Ueno, Chem. Phys. Lett 364,93(2002), Yamane et al. and Ueno, Phys. Rev. B72, 153412 (2005)), (ii) 無機半導体とは異なる、有機薄膜に固有の原因によると考えられる「バンドの曲がり」(Yamane et al. and Ueno, J. Appl. Phys. 99, 093705(2006))を見いだした。また、(iii)有機薄膜自身の内因的原因による(界面の強い相互作用に原因しない)バンドギャップ中の電子状態の存在と界面分子層を「通した」ギャップ中電子の移動などを見出した。これらは、従来の研究では得られなかったもので、分子集合体としての有機薄膜に固有の特徴をようやく手中にしつつある状況であった。

## 2. 研究の目的

上記の背景のもと、本研究では、有機薄膜の精密構造制御法を発展・利用し、これまでの常識を越えた超精密な光電子分光法とその応用的方法による物性研究手法を組み合わせ以下の研究を達成する。

(1) 有機/無機界面のマイクロ・ナノ構造、有機薄膜中の有機微結晶粒境界、微結晶中の分子間界面、さらにそれらの構造的・時間的揺らぎが律速する電子状態・動的電子現象について、相互作用の強さ(分子間相互作用、電子-振動結合定数など)や電導ホールの寿命などの定量的値を得る。

(2) ナノ・ミクロスケールの界面構造制御と異方性薄膜成長制御を利用して精密な電子構造研究と移動度など電気的性質の基盤物理の解明を行い、フェルミ準位制御の実現やエネルギーバンド分散を発現させる。

(3) 電荷移動がキーとなる有機トランジスタの高性能化への具体的方法を与える。さらに有機材料の「自己再生機能」の第一歩を実現し、新たな有機デバイス機能を発掘する。

## 3. 研究の方法

本研究における研究は4つに大別される：  
①実験装置の改良・高性能化、②有機試料の精製と高度に規定された薄膜成長の実現条件の探索、③精密な電子分光測定を実施する。尚、本研究では主として新規かつ精密な紫外光電子分光(UPS)測定によって上記の研究を行うが、必要に応じてペニングイオン化電子分光法(PIES)等を併用する。不活性ガス中での昇華精製と高真空中での昇華精製と高品質膜の成長探索は並行して実施した。実験装置の超高感度化への改良：有機薄膜の

分子パッキングの僅かな乱れが、最高価電子準位(HOMO)のテイリングによるバンドギャップ準位を生じる。従来のUPSでは励起光に含まれる微弱な「サテライト光」による光電子バックグラウンドのため、光電子の検出感度を上げてもギャップ準位の測定は不可能であった。実験室レベルでは大型の紫外光分光器を利用することが困難であり、本研究では小型分光器に加え、光電子検出器に二次元ディテクターを併用して目的を達する。試料上の異なる位置に集光された光による光電子が電子アナライザーのレンズ効果により、ディテクター上の異なる位置に収束することを利用して必要な光電子をディテクター上で選別して記録する。本研究期間に従来のUPSの $10^3$ 倍の感度を実現する。

電子-格子結合と電気伝導物性の解明：「完全」単分子膜の高エネルギー分解UPSを測定し、HOMOバンドの振動構造分離によってホール振動結合定数等、ホッピング移動度に寄与する物理量を求める。

バンド分散の測定と電気物性への応用：分子間エネルギーバンド分散を角度分解UPSで実測し、ホールの有効質量やホール移動度をUPSによって得る。また分子-分子相互作用の定量的知見(トランスファー積分 $t$ )を実験的に求める。

界面双極子層の真の効果とフェルミ準位のピン止め、ギャップ状態の精密研究、埋もれた界面の測定、気体暴露効果：このためバンドギャップ中のこれまで検出できなかった電子準位を実験的にとらえる必要がある。

超高感度UPSによってバンドギャップ中の電子準位を研究する。低エネルギー励起光による超高感度UPSによって、有機膜内部および埋もれた基板/有機界面の精密な電子状態測定を実施し、表面層UPSと比較する。気体暴露効果は、特に不活性ガスによる膜構造の変動(電子状態の変化を誘発)とその回復の精密計測を行う。

## 4. 研究成果

当初計画した目的を達成すると共に、有機半導体単結晶のUPS測定法の開拓をはじめ、多くの新現象を捉えることに成功し、当初計画以上の成果を上げることができた。以下では、本研究で得られたいくつかの代表的結果を示す。

### 4.1 HOMO ホール/振動結合定数とポーラロン結合エネルギー

電子/ホールのホッピング移動度 $\mu$ は、分子間距離を $a$ 、伝導に寄与する隣り合う分子軌道間のトランスファー積分( $t$ )と再配向エネルギー(reorganization energy)( $\lambda_{\text{reorg}}$ )によって支配される。 $\lambda_{\text{reorg}}$ は電荷と分子振動(局在フォノン)の結合程度を表す重要な物理

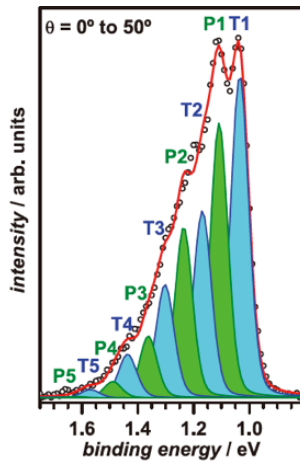


図1 ルブレン高配向単分子膜/グラファイトのHOMOホール-振動結合の高分解能UPS (バックグラウンド除去後)。Twisted bone 構造/T と planar bone 構造/P の分子が共存している (Adv. Mat. 2012 に発表)。

量である。このため、 $t$  と  $\lambda_{\text{reorg}}$  を実験的に知ることが必須であり、大きなホッピング移動度を得るためには、より小さな  $\lambda_{\text{reorg}}$ 、より大きな  $t$  が必要である。前述のように、バンド分散測定から  $t$  が実験的に求まるので  $\lambda_{\text{reorg}}$  が測定できるとホッピング移動度が実験的に推定される。 $\lambda_{\text{reorg}}$  は、光イオン化の過程で観測される HOMO バンドの振動結合による  $0 \rightarrow n$  遷移 [中性分子の振動基底状態からイオンの  $n$  番目の振動状態への遷移] の振動サテライトの光電子強度分布 ( $I_n$ ) と振動エネルギー ( $h\nu$ ) を測定することにより得られる。図1は高度且つ一様に配向したルブレン単分子膜の高分解能UPSの結果であり、振動サテライトの強度分布とそのエネルギーから、 $\lambda_{\text{reorg}}$  と小さいポーラロンの結合エネルギー  $E^{\text{pol}}$  等が表Iに示したように得られた。

#### 4.2 分子間エネルギーバンド分散、ホールの有効質量と散乱距離

有機半導体は基本的に熱励起キャリアがほとんど存在しないために絶縁物である。この結果、帯電現象のため単結晶のUPS測定ができない。この点が、角度分解UPS (ARUPS) 測定に在るバンド分散測定が不可能であった主因である。本研究で、光電導を駆使して試料帯電を克服しARUPSによるルブレン単結晶 ( $1 \text{ mm} \times 5 \text{ mm} \times 20 \mu\text{m}$ ) のバンド分散測定を初めて実現した (図2)。 $\Gamma$ -Y 方向に  $0.4 \text{ eV}$  幅の分散が観測され、HOHO-HOMO 相互作用 (トランスファー積分,  $t$ ) は  $0.1 \text{ eV}$  である。ホールの有効質量 ( $m_h^*$ ) は、自由電子の静止質量  $m_0$  を用いて

表I UPSによるルブレンのHuang-RhysのSファクター、単一モード振動エネルギー ( $h\nu$ :イオン化状態)、ポーラロン結合エネルギー ( $E^{\text{pol}}$ )、再配向エネルギー ( $\lambda_{\text{reorg}}$ :表では $\lambda$ ) (Adv. Mat. 2012に発表)。

Parameter	Twisted	Planar	Average	Calculated <sup>9)</sup>
S	0.58	0.62		
$h\nu$ (meV)	134	127	-130	-170
$E^{\text{pol}}$ (meV)	78	79	78.5	79.5
$\lambda$ (meV)	155	157	156	159

a) 理論値(D. A. da Silva Filho et al., Adv. Mat. 17, 1072 (2005)より)。

$m_h^* = 0.65 m_0$  と決定された。この有効質量は、これまで測定された有機半導体の中では際だって小さく、ルブレンで大きなホール移動度  $\mu_h$  が得られる根拠になっている。加えて、伝導ホールの平均自由行程 ( $\lambda_h$ ) は  $\lambda_h \geq 2.1 \text{ nm}$  と得られ格子定数の数倍におよぶ。ルブレンでの大きな  $\mu_h$  がバンド伝導によるものと考えうる電子論的根拠を与えている。ルブレンにおいて  $m_h^*$  が小さい原因は立体的な分子構造のため、(i)格子定数が大きくブリルアンゾーンが小さい、しかし(ii)分子間相互作用の低下が小さい、ためである。この結果は、分子単体の構造に加え結晶構造を考慮した新しい分子設計指針を示唆している。

#### 4.3 界面電子準位接続の基本問題

固体物理学/熱・統計力学は、異物質の接触において電子系が熱平衡に達することを要求するので、一般的に利用されている界面での電子準位接続モデルのひとつである真空

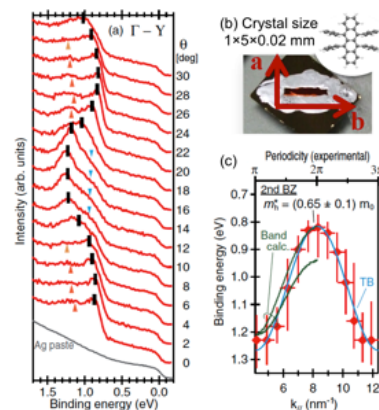


図2 (a) ルブレン単結晶のHOMOバンド分散測定結果 ( $\Gamma$ -Y方向)。(b)分子構造と、資料代に貼り付けた単結晶。(c) HOMOバンド分散のプロット (赤:  $\Gamma$ -Y方向) (Phys. Rev. Lett. (2010)に発表)。

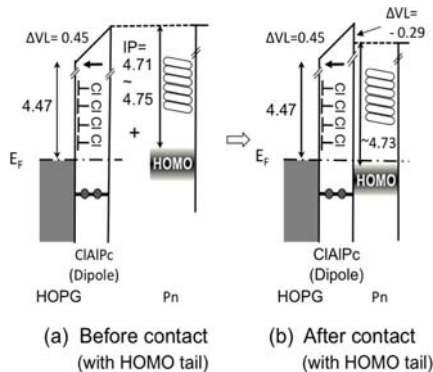


図3 ペンタセン(Pn) /CIAIPc 双極子層/グラファイト(HOPG)の界面電子準位接続。エネルギーの単位は eV。(a) ペンタセンとCIAIPc/HOPG の接触前。(b)接触後。

準位一致モデル(Mott-Schottky limit)は、異なる二つの物質が全く相互作用していない「離れた」状態にある場合と同等である。界面に電気双極子層が導入されると双極子層のポテンシャル段差に等しい真空準位(VL)、HOMO、LUMO(最低非占有準位)等の変化が実験誤差内で観測され、電子系の熱平衡からはHOMO-LUMOギャップ(バンドギャップ)内でフェルミ準位の変動が生じたことになる。その真の原因は大きなミステリーであった。この解明のために用いたペンタセン / CIAIPc フタロシアニン双極子層 /グラファイトの系の界面電子準位接続を図3に示す。図3(a)はペンタセンが双極子層(CIAIPc)のある基板表面に接触する前を表しており、(b)は接触後を表している。この結果は、ペンタセンから基板への電子が移動し、その移動量によってフェルミ準位とペンタセンのHOMOの相対位置が決まり、ギャップ準位がフェルミ準位まで到達していることを予想させる。図4に図3(b)の系に対して超高感度・低損傷UPS装置を用いて実現したギャップ準位の状態密度の測定結果を示す。ペンタセンのHOMOからフェルミ準位領域の状態密度が「対数」で示されている。比較のために、3ML(3分子層)のペンタセンの場合の結果も比較してある。図中の直線的構造は、指数関数的な電子の状態密度分布を示し、放物線的構造は状態密度がガウス分布していることに対応する。この結果は、HOMO近傍にはバンドギャップ中にガウス分布型の状態密度(HOMOのガウステイル)が存在し、フェルミ準位近傍には指数関数型の状態密度が存在することを示している。重要な点は、ペンタセンのバンドギャップ中にフェルミ準位まで到達する連続的電子状態が存在することである。3MLのペンタセンではHOMO

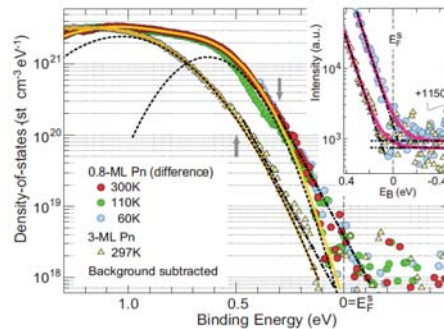


図4 図3(b)のペンタセン層の超高感度UPSによって観測されたバンドギャップ状態。バンドギャップ状態がフェルミ準位に到達していることが分かる。原因は不純物ではない(Appl. Phys. Lett. (2010)に発表)。

が高 $E_B$ 側に位置している。0.8MLではフェルミ準位に近いところの電子が基板側に移動し、結果としてHOMOが低 $E_B$ 側にシフトしたと結論できる( $p$ 型的振る舞い)。検出されたギャップ準位は不純物によるものではなく界面を構成する物質の電子系の熱平衡のために生じる電子移動によって誘発される分子パッキングの不完全性による可能性が大きい。この様な分子配列の自発的乱れによるギャップ中の電子準位が界面電子準位接続でのミステリーの原因と考えられる。

関連してCuフタロシアニン薄膜を1気圧の高純度窒素ガスに暴露することによって生じるバンドギャップ状態が超高感度UPS測定によって見出され、結果として $p$ 型ドーピングと同様な振る舞いを誘発することを見出した。窒素暴露後バンドギャップ中の電子状態密度が増加したの試料をアニールすることによってバンドギャップ状態密度は減少し、暴露前の電子準位接続に戻る。この結果も、酸素による化学的効果や不純物分子によるものではなく分子配列のわずかな乱れ(気体暴露による物理効果)によってバンドギャップ状態が形成される好例であり実デバイスの性能を向上させる上で考慮する必要のある極めて重要な現象である。

これらの研究をふまえ、有機・有機ヘテロ界面でのフェルミ準位ピン止めについても超高感度UPSによって研究した。CuPc-on-F<sub>16</sub>CuPc界面において、CuPcのバンドギャップ状態が、フェルミ準位のピン止めを支配していることを突き止めた。

尚、図3,4で実現した完全な二次元CIAIPc配向膜(双極子層)中の個々の分子の反転現象を利用して、「液体窒素温度」で動作する超高密度分子メモリを実現することにも成功した。

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 49 件)

- (1) S. Duhm, Q. Xin, S. Hosoumi, H. Fukagawa, K. Sato, N. Ueno, S. Kera, *Charge reorganization energy and small polaron binding energy of rubrene thin films by ultraviolet photoelectron spectroscopy*, Adv. Mat. 2012, **27-7**, 901-905, 査読有  
DOI: 10.1002/adma.201103262
  - (2) Y. L. Huang, Y. Lu, T. C. Niu, H. Huang, S. Kera, N. Ueno, A. Wee, W. Chen, *Reversible Single-Molecule Switching in an Ordered Monolayer Molecular Dipole Array*, Small 2012, 2012, 1-6, 査読有  
DOI:10.1002/smll.201101967
  - (3) H. Y. Mao, F. Bussolotti, D.C. Qi, R. Wang, S. Kera, N. Ueno, *Mechanism of the Fermi level pinning at organic donor-acceptor*, Organic Electronics, 2011, **12**, 534-540, 査読有  
DOI:10.1016/j.orgel.2011.01.003
  - (4) H. Fukagawa, S. Hosoumi, H. Yamane, S. Kera, N. Ueno, *Dielectric properties of polar-phthalocyanine monolayer systems with repulsive dipole interaction*, Phys. Rev. B, 2011, **83**, 085304-1-8, 査読有  
DOI:10.1103/PhysRevB.83.085304
  - (5) T. Hosokai, H. Machida, A. Gerlach, S. Kera, F. Schreiber, N. Ueno, *Impact of structural imperfection on the energy level alignment in organic films*, Phys. Rev. B, 2011, **83**, 195310-1-7, 査読有  
DOI: 10.1103/PhysRevB.83.195310
  - (6) T.C. Niu, Y.L. Huang, J.T. Sun, S. Kera, N. Ueno, A.T.S. Wee, W. Chen, *Tunable two-dimensional molecular dipole dot arrays on graphite*, Appl. Phys. Lett., 2011, **99**, 143114-1-3, 査読有  
DOI: 10.1063/1.3647563
  - (7) S. Duhm, S. Hosoumi, I. Salzmänn, A. Gerlach, M. Oehzelt, B. Wedl, T.-L. Lee, F. Schreiber, N. Koch, N. Ueno, S. Kera, *Influence of intramolecular polar bonds on interface energetics in perfluoro-pentacene on Ag(111)*, Phys. Rev. B, 2010, **81**, 045418-1-6, 査読有  
DOI: 10.1103/PhysRevB.81.045418
  - (8) T. Sueyoshi, H. Kakuta, M. Ono, K. Sakamoto, S. Kera, N. Ueno, *Band gap states in copper phthalocyanine thin films induced by N<sub>2</sub> exposure*, Appl. Phys. Lett, 2010, **96**, 093303-1-3, 査読有  
DOI:10.1063/1.3332577
  - (9) N. Ueno (他 13 人, 10 番目), *Intermolecular band dispersion in a self-assembled phthalocyanine derivative film: The case of tetrakis(thiadiazole)porphyrine*, Phys. Rev. B, 2010, **82**, 73408, 査読有  
DOI: 10.1103/PhysRevB.82.073408
  - (10) S. Machida, Y. Nakayama, S. Duhm, Q. Xin, A. Funakoshi, N. Ogawa, S. Kera, N. Ueno, H. Ishii, *Highest-Occupied-Molecular-Orbital Band Dispersion of Rubrene Single Crystals as Observed by Angle-Resolved Ultraviolet Photoelectron Spectroscopy*, Phys. Rev. Lett., 2010, **104**, 156401, 査読有  
DOI: 10.1103/PhysRevLett.104.156401
  - (11) T. Sueyoshi, H. Fukagawa, M. Ono, S. Kera, N. Ueno, *Low-density band-gap states in pentacene thin films probed with ultrahigh-sensitivity ultraviolet photoelectron spectroscopy*, Appl. Phys. Lett, 2009, **95**, 183303-1-3, 査読有  
DOI:10.1063/1.3258351
  - (12) S. Kera, H. Yamane, N. Ueno, *First principles measurements of charge mobility in organic semiconductors: Valence hole-vibration coupling in organic ultrathin films*, Prog. Surf. Sci. (Progress Highlight), 2009, **84**, 135-154, 査読有  
DOI:10.1016/j.progsurf.2009.03.002
- [学会発表] (計 144 件)
- (1) N. Ueno (招待講演), *First-principles experiment on electrical conductivity of organic devices with UPS: Charge delocalization, vibration coupling and band-gap states*, 76th German Physical Society Spring meeting, 2012/3/29, Berlin, Germany
  - (2) X. Hao, T. Smith, K. Ghiggino, N. Ueno (Key note 講演), *Investigation of morphology and electronic structures in conjugated polymer films*, The 5th VACPS research workshop, 2011/11/12, Melbourne, Australia
  - (3) N. Ueno (Keynote 講演), *Mechanism of the energy level alignment and band bending in organic devices: Why does the Fermi level move in the HOMO LUMO gap*, ECI Conference on Carbon-Based Nano-Materials and Devices, 2011/10/17, Suzhou, China
  - (4) N. Ueno (招待講演), *Ultralow density-of-states in the band gap of organic semiconductors: Their origin and role*, Electronic Properties of pi-conjugated Materials II, 2011/9/27, Wuerzburg, Germany
  - (5) N. Ueno (招待講演), *Ultralow-density band-gap states in undoped organic semiconductors: Extrinsic vs spontaneous effects*, 6th International Workshop on "Electronic Structure and Processes at Molecular- Based Interfaces" (ESPMI-VI), 2011/9/25, Karlsruhe, Germany
  - (6) N. Ueno (招待講演), *Electronic structure of organic materials and their mysterious hybrids with inorganics: What we know and what we don't know*, The KOSMOS

- Summer University 2011 "Frontiers of Organic/Inorganic Hybrid Materials for Electronics and Optoelectronics", 2011/9/17, Berlin, Germany
- (7) N.Ueno (招待講演), *Unraveling mystery in organic devices: Direct measurements of ultralow-density band-gap states in organic semiconductors*, International Workshop on Organic Composite Optoelectronic Materials and Devices (IWOCOMD 2011), 2011/8/4, Weihai, China
- (8) N.Ueno (Keynote 講演), *Unraveling mysteries in the energy level alignment in organic devices: Detection of ultralow density-of-states in the band gap*, Symposium Q, "Interfacial Chemistry and Engineering and Their Applications for Molecular and Organic Electronics", International Conference on Materials for Advanced Technologies, ICMAT-2011, 2011/6/25, Suntec, Singapore
- (9) 町田真一, 中山泰生, シュテフェン デューム, チェン シン, 舟越亮博, 小川尚記, 解良聡, 上野信雄, 石井久夫, レーザー照射により帯電を緩和した角度分解紫外光電子分光〜ルブレ単結晶の HOMO バンド分散〜, 2010 年秋季第 71 回応用物理学学会学術講演会, 2010/9/15, 長崎
- (10) N. Ueno (招待講演), *Open a door to the mysteries at organic-device interfaces: Detection of ultralow density-of-states in the band gap*, Symposium IRIS 1: HYBRID SYSTEMS FOR OPTICS AND ELECTRONICS, 2010/7/13, Berlin-Adlershof, Germany
- (11) 上野信雄, 角度分解光電子分光による有機半導体のバンド分散・電子/振動相互作用, 物理学会シンポジウム:「有機半導体界面における電子状態プローブの新展開」, 2010/3/20, 岡山
- (12) S. Kera, N. Ueno, *Electronic Structure of radical anion monolayer of F<sub>4</sub>TCNQ*, 5th edition of the international workshop on Electronic Structure and Processes at Molecular-Based Interfaces (ESPMI-V), 2010/1/27, Chiba
- (13) N. Ueno, *Bridging electronic states & electrical property of organic devices by ultimate use of UPS*, The 37th International Conference on the Physics and Chemistry of Surfaces and Interfaces(PCSI-37), 2010/1/10, Santa Fe, USA
- (14) N. Ueno (招待講演), *Ultraviolet photoelectron spectroscopy of organic semiconductors: Bridging electronic states and electrical properties*, The K. Siegbahn Prize 2009, Uppsala Oct 2, ASOMEA-V, 2009/9/30, Uppsala, Sweden
- (15) N. Ueno (招待講演), *First Principles Measurement of Hole Mobility in Organic Semiconductors with UPS: Bridging Electronic States and Electrical Property*, ISSP Workshop "physics and new phenomena of  $\pi$ -electronic interfaces, 2009/8/10, Kashiwa, Chiba
- (16) 上野信雄 (招待講演), *有機デバイス界面の電子準位接続での巨大なミステリー*, 分子科学シンポジウム「有機分子の界面:電子状態とデバイス」, 2009/6/12, 東京
- (17) N. Ueno (招待講演), *On the way to First principles experiment of the hole mobility of organic semiconductors with ultraviolet photoelectron spectroscopy*, The 8th International Conference on Optical Probes of Conjugated Polymers and Organic Nanostructures, 2009/6/6, Beijing, China
- (18) N.Ueno (招待講演), *The first principles measurement of charge mobility of organic semiconductors with UPS*, 2009 MRS spring meeting, Symposium B on Concepts in Molecular and Organic Electronics, 2009/4/13, San Francisco, USA.
- [図書] (計 3 件)
- (1) 上野 信雄, 情報機構, *有機薄膜デバイスの性能向上に向けた取り組み〜弱い物理的摂動に誘発される構造変更とバンドギャップ準位: 電子構造から見た電荷移動度の改善〜(有機デバイス・材料の耐久性向上および長寿命化技術 第 4 節)*, 2011, 95-113
- (2) N. Ueno, M. Fahlman, N. Koch, *Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena*, Preface for Special issue, *Molecular materials for electronic function*, 2009, 1-136
- (3) 上野 信雄, シーエムシー出版, 「有機デバイスのための界面評価と制御技術」第 I 編第 7 章, *電子状態と電気伝導: 界面電子準位接続と電荷移動度研究の課題と現状*, 2009, 15 ページ
- [その他]  
ホームページ等  
<http://ulab-www.tf.chiba-u.jp/>  
6. 研究組織
- (1) 研究代表者  
上野 信雄 (UENO NOBUO)  
千葉大学・大学院融合科学研究科・教授  
研究者番号: 40111413
- (3) 連携研究者  
奥平 幸司 (OKUDAIRA KOJI)  
千葉大学・大学院融合科学研究科・准教授  
研究者番号: 50202023  
解良 聡 (KERA SATOSHI)  
千葉大学・大学院融合科学研究科・准教授  
研究者番号: 10334202  
坂本 一之 (SAKAMOTO KAZUYUKI)  
千葉大学・大学院融合科学研究科・准教授  
研究者番号: 70261542