

解 良 聡（教授）（2014 年 4 月 1 日着任）

A-1) 専門領域：表面物理学，有機薄膜物性

A-2) 研究課題：

- a) シンクロトロン放射光・レーザー光励起による弱相互作用系の電子状態計測
- b) 有機半導体薄膜の電荷輸送機構の研究
- c) 有機半導体薄膜の界面電子準位接合機構の研究
- d) 機能性分子薄膜の光電子放出強度の理論解析と分子軌道撮影法の開発
- e) 機能性分子薄膜の振動状態と電子励起計測
- f) 自己組織化と分子認識機能の分光研究
- g) 分子薄膜の作製と評価：成長ダイナミクス，構造と分子配向

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) 機能性分子薄膜の弱相互作用による電子状態変化を計測する技術開発を進めている。弱相互作用を定量的に評価するため，蒸気圧の低い大型分子対応の気相光電子分光実験装置を開発し，分子集合による電子状態の違いに関する議論を進めている。2014 年度より新たに超短パルスレーザー光を励起源として電子状態を測定し，ホール緩和や励起子拡散など，電荷ダイナミクス関連の研究を開始した。
- b) 有機半導体のバンド分散関係：良質な配向有機結晶膜を作製し，価電子エネルギーバンド分散を測定し，分子間相互作用の大きさ，ホールの有効質量など，バンド伝導移動度を評価した。更に幾多の実験的困難の克服により，有機単結晶試料に対して行う技術を確立し，世界で初めて分散関係の検出に成功した。またパルス光源を用いた飛行時間型高分解能角度分解測定により，有機単結晶の二次元バンド分散関係の完全決定実験を進めている。
有機半導体の電荷振動結合：配向有機超薄膜の作製により，大型の分子薄膜系における光電子スペクトルの高エネルギー分解測定を実現する方法論を開拓して，分子薄膜における伝導ホールと分子振動の結合状態を初めて実測し，ホッピング移動度（そのポーラロン効果を含む）を分光学的に得る方法を開拓した。これらの物理量を実測することで，輸送機構の解明を目指している。
- c) 本質的には絶縁物である有機分子が n 型／p 型半導体として機能する起源を明らかにすべく研究を進めている。極めて高感度に光電子を捕捉し，評価可能な光電子分光装置を開発し，価電子バンドの 10 万分の 1 程度以下の微小バンドギャップ状態密度の検出に成功した。価電子帯トップバンドの状態密度分布がガウス型から指数関数型に変化し，基板フェルミ準位まで到達している様子をとらえた。ドナー・アクセプター半導体分子間の弱い vdW 結合から，分子と金属原子の局所的な強い化学結合によるギャップ準位形成までを統括検討し，エネルギー準位接合機構の解明を目指している。
- d) 高配向有機薄膜からの光電子放出強度の角度依存性について，多重散乱理論による強度解析を行い，分子薄膜構造の定量的解析を行うための方法論を検討している。多様な有機薄膜の分子配向に依存した電子波のポテンシャル散乱と干渉問題を評価してきた。また理論計算から，二次元角度分解測定により分子軌道の可視化が行え，配向分子系（固体）における分子計測の新たなツールとなりうることを提案した。放射光を利用した実験とともに，局在電子系における一電子近似の限界を検討し，弱相互作用系の物理を議論している。

- e) 低速電子エネルギー損失分光により、機能性分子薄膜の振動状態と電子励起状態を測定し、弱相互作用による振動構造への影響を調べている。
- f) 表面場で織り成すパイ共役分子系の超格子構造や、分子薄膜の自己組織化機構の解明を目指している。また超分子系の固相膜を作製し、自己組織化や原子・分子捕獲などによる電子状態への影響を測定することで、分子認識機能について分光学的に研究している。
- g) 有機分子薄膜(高分子薄膜)の電子状態を議論する上で、試料調整方法の確立が鍵である。光電子放射顕微鏡(PEEM)、走査プローブ顕微鏡(STM)、高分解能低速電子線回折(SPALEED)、準安定励起原子電子分光(MAES)、X線定在波法(XSW)、軟X線吸収分光(NEXAFS)等を用い、基板界面における単分子膜成長から結晶膜成長までの多様な集合状態について構造(分子配向)と成長を観察した。

B-1) 学術論文

T. HOSOKAI, A. HINDERHOFER, F. BUSSOLOTTI, K. YONEZAWA, C. LORCH, T. WATANABE, A. VOROBIEV, Y. HASEGAWA, Y. YAMADA, Y. KUBOZONO, A. GERLACH, S. KERA, F. SCHRIBER and N. UENO, “Thickness and Substrate Dependent Thin Films Growth of Picene and Impact to the Electronic Structure,” *J. Phys. Chem. C* **119**, 29027–29037 (2015).

Y. NAKAYAMA, Y. URAGAMI, M. YAMAMOTO, K. YONEZAWA, K. MASE, S. KERA, H. ISHII and N. UENO, “High-Resolution Core-Level Photoemission Measurements on the Pentacene Single Crystal Surface Assisted by Photoconduction,” *J. Phys.: Condens. Matter* **28**, 094001 (8 pages) (2016).

J.-P. YANG, W.-Q. WANG, L.-W. CHENG, Y.-Q. LI, J.-X. TANG, S. KERA, N. UENO and X.-H. ZENG, “Mechanism for Doping Induced p Type C₆₀ Using Thermally Evaporated Molybdenum Trioxide (MoO₃) as a Dopant,” *J. Phys.: Condens. Matter* **28**, 185502 (6 pages) (2016).

T. KIRCHHUEBEL, M. GRUENEWALD, F. SOJKA, S. KERA, F. BUSSOLOTTI, T. UEBA, N. UENO, G. ROUILLE, R. FORKER and T. FRITZ, “Self-Assembly of Tetraphenyldibenzoperiflanthene (DBP) Films on Ag(111) in the Monolayer Regime,” *Langmuir* **32**, 1981–1987 (2016).

K. YONEZAWA, Y. SUDA, S. YANAGISAWA, T. HOSOKAI, K. KATO, T. YAMAGUCHI, H. YOSHIDA, N. UENO and S. KERA, “Charge Transfer States Appear in the π -Conjugated Pure Hydrocarbon Molecule on Cu(111),” *Appl. Phys. Express* **9**, 045201 (4 pages) (2016).

T. SCHULTZ, R. SCHLESINGER, J. NIEDERHAUSEN, F. HENNEBERGER, S. SADOFEV, S. BLUMSTENGEL, A. VOLLMER, F. BUSSOLOTTI, J.-P. YANG, S. KERA, K. PARVEZ, N. UENO, K. MÜLLEN and N. KOCH, “Tuning the Work Function of GaN with Organic Molecular Acceptors,” *Phys. Rev. B* **93**, 125309 (5 pages) (2016).

Y. HE, F. BUSSOLOTTI, Q. XIN, J. P. YANG, S. KERA, N. UENO and S. DUHM, “Transient Monolayer Structure of Rubrene on Graphite: Impact on Hole-Phonon Coupling,” *J. Phys. Chem. C* **120**, 14568–14574 (2016).

C. LI, J. WEI, M. SATO, H. KOIKE, Z.-Z. XIE, Y.-Q. LI, K. KANAI, S. KERA, N. UENO and J. X. TANG, “Halide-Substituted Electronic Properties of Organometal Halide Perovskite Films: Direct and Inverse Photoemission Studies,” *ACS Appl. Mater. Interfaces* **8**, 11526–11531 (2016).

J. P. YANG, W. Q. WANG, F. BUSSOLOTTI, L. W. CHENG, Y. Q. LI, S. KERA, J. X. TANG, X. H. ZENG and N. UENO, “Quantitative Fermi Level Tuning in Amorphous Organic Semiconductor by Molecular Doping: Toward Full Understanding of the Doping Mechanism,” *Appl. Phys. Lett.* **109**, 093302 (4 pages) (2016).

T. UEBA, J. PARK, R. TERAOKA, Y. WATANABE, T. YAMADA and T. MUNAKATA, “Unoccupied Electronic Structure and Molecular Orientation of Rubrene; from Evaporated Films to Single Crystals,” *Surf. Sci.* **649**, 7–13 (2016).

T. UEBA, T. YAMADA and T. MUNAKATA, “Electronic Excitation and Relaxation Dynamics of the LUMO-Derived Level in Rubrene Thin Films on Graphite,” *J. Chem. Phys.* **145**, 214703 (9 pages) (2016).

B-4) 招待講演

S. KERA, “A perspective of quasiparticle state in organic crystals,” The 18th International conference on solid states and surfaces (ICSFS18), Chemnitz (Germany), August 2016.

S. KERA, “Deep insight into electronic states of functional molecular materials,” The International Conference on Electronic Materials (ICMRS-ICEM2016), Singapore, July 2016.

S. KERA, “Mass, momentum, and energy of an electron of rubrene single crystal,” The 4th Workshop on Physics in Organic Optoelectronics, Soochow (China), December 2016.

B-7) 学会および社会的活動

学協会役員等

UVSOR 利用者懇談会世話人 (2012–2014).

VUVX (International Conference on Vacuum Ultraviolet and X-Ray Physics) 真空紫外光物理およびX線物理国際会議国際諮問委員 (2014–).

学会の組織委員等

第30回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム組織委員 (2016).

第77回応用物理学会秋季学術講演会プログラム編成委員 (2016).

第63回応用物理学会春季学術講演会プログラム編成委員 (2016).

The 4th Workshop on Physics in Organic Optoelectronics, Co-Chair (Soochow, China 2016).

学協会連携分子研研究会「表面科学の最先端技術と分子科学(第7回真空・表面科学若手研究会)」運営委員 (2016).

第76回岡崎コンファレンス “Workshop on Advanced Spectroscopy of Organic Materials for Electronic Applications” 主催者 (2016).

MPI-PKS 国際重点研究会 “Prospects and Limitations of Electronic Structure Imaging by Angle Resolved Photoelectron Spectroscopy,” Co-Chair (Dresden, Germany 2016).

JSPS-NSFC joint 3rd Workshop on Physics in Organic Optoelectronics, Chair (IMS, Okazaki 2015).

第29回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム組織委員 (2015).

第76回応用物理学会秋季学術講演会プログラム編成委員 (2015).

第62回応用物理学会春季学術講演会プログラム編成委員 (2015).

第28回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム組織委員 (2014).

JSPS-NSFC joint 2nd Workshop on Physics in Organic Optoelectronics, Co-chair (Soochow Univ., China 2014).

第75回応用物理学会秋季学術講演会プログラム編成委員 (2014).

第61回応用物理学会春季学術講演会プログラム編成委員 (2013).

第27回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウムプログラム委員 (2013).

JSPS-NSFC joint 1st Workshop on Physics in Organic Optoelectronics, Co-chair (Tokyo Univ. of Sci., Japan 2013).

UVSOR 研究会「UVSOR 有機固体専用ラインの今後の展開」主催者 (2012).

The 4th Workshop on Advanced Spectroscopy of Organic Materials for Electronic Applications (ASOMEA4), Local Committee (Chiba, Japan 2007).

21世紀COE プログラム若手主導研究会主催者 (2006).

Workshop on Electrical and Electronic Properties in Crystalline Thin Films of Small-Molecules, Co-chair (Chiba, Japan 2005).

UVSOR 研究会「有機薄膜の放射光利用研究：BL8B2 の歩みと今後の展開」主催者 (2007).

学会誌編集委員

真空誌編集委員 (2008–2009).

Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena, Guest Editor (2014).

Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena, Editorial Board (2015–).

その他

千葉大学工学部工学同窓会部会幹事 (2008–2013).

B-8) 大学での講義, 客員

千葉大学大学院融合科学研究科, 連携客員教授, 2014年9月–.

千葉大学大学院融合科学研究科, 「ナノ創造物性工学特論II」, 2014年9月–.

蘇州大学, 客員教授, 2014年4月–.

B-10) 競争的資金

科研費若手研究(A), 「巨大分子吸着系における価電子帯ホール・振動結合：有機電荷輸送機構の解明」, 解良 聡 (2005年–2007年).

科研費挑戦的萌芽研究, 「有機デバイス材料の個性を知る：移動度の直接評価」, 解良 聡 (2008年–2009年).

科研費若手研究(A), 「分子性固体における電荷輸送とその動的現象の解明」, 解良 聡 (2008年–2010年).

科研費基盤研究(B), 「パイ共役分子による低次元超格子ヘテロ界面構造とその電子状態」, 解良 聡 (2011年–2013年).

日本学術振興会二国間交流事業共同研究費 (NSFC), 「有機タンデム光電子デバイスの有機半導体の本性を活用した高性能化」, 解良 聡 (2013年–2015年).

科研費基盤研究(A), 「精密電子状態評価による有機半導体界面に特徴的な電子機能の解明」, 解良 聡 (2014年–2016年).

C) 研究活動の課題と展望

これまで積み重ねてきた大型の機能性分子の高配向薄膜試料を作製するノウハウを活用し, その電子状態を高分解能 (高感度) 光電子分光法により測定することで, 分子材料中の「電子の真の姿を見出すこと」を主眼として進めている。高感度紫外光電子分光装置, 気相光電子分光装置, 逆光電子分光装置, スポット分析型低速電子線回折装置の立ち上げを完了し,

実験データの取得を開始している。立ち上げ中のラボ装置としては新規に導入した超短パルスレーザー光源を用いたシステムが残るが、二光子光電子分光および時間分解光電子分光測定への実験展開を急ぎたい。UVSOR 施設においては、外部ユーザーとしてビームタイムの申請に努め、有機固体の未踏の電子状態測定を実現すべく、アドバンス光電子分光実験を推進している。X線定在波分光や飛行時間型角度分解光電子分光などの国内で実施不可能な先端分析実験は、引き続き海外放射光施設(Diamond (英), BESSY (独), ELETTRA (伊))の利用申請により共同利用実験を進める。UVSOR 施設利用実験の新規展開として、高運動量分解・高エネルギー分解光電子顕微鏡を用いた有機固体系の新奇実験装置開発について検討を開始した。実験データの理論解析を進めるために、国内外の理論グループとの連携を深める予定である。