

二国間交流事業 共同研究報告書

平成23年4月6日

独立行政法人日本学術振興会理事長 殿

共同研究代表者所属・部局 九州大学大学院工学研究院応用化学部
門・未来化学創造センター

職・氏名 ^(ふりがな) 教授・^{あだち}安達 ^{ちはや}千波矢

1. 事業名 相手国（シンガポール）との共同研究振興会対応機関（国立シンガポール大学（NUS））

2. 研究課題名 （和文）有機トランジスターの高性能化および新デバイスへの展開

（英文）High performance organic field effect transistors and their novel applications

3. 全採用期間

平成21年 4月 1日 ～ 平成23年 3月31日 （2年）

4. 経費総額

(1) 本事業により執行した研究経費総額 6,600,000円

初年度経費 2,300,000 円、 2年度経費 2,300,000 円

(2) 本事業経費以外の国内における研究経費総額 6,500,000 円

5. 研究組織

(1) 日本側参加者（代表者は除く）

氏名 <small>(ふりがな)</small>	所属・職名	研究協力テーマ
やすだ たくま 安田 琢磨	九州大学大学院工学研究院応用化学部門・准教授	有機ナノ構造制御に関する分子設計
やひろ まさゆき 八尋 正幸	九州大学未来化学創造センター・客員准教授	有機半導体薄膜のデバイス化
ひらで まさや 平出 雅哉	九州大学大学院工学府物質創造工学専攻・大学院生	有機薄膜デバイス作製と薄膜凝集構造評価
たなか さとたろう 田中 里多朗	九州大学大学院工学府物質創造工学専攻・大学院生	有機薄膜デバイスの光物性評価
くぼた これふみ 久保田 是史	九州大学大学院工学府物質創造工学専攻・大学院生	有機薄膜デバイスの電子物性評価

(2) 相手国側研究代表者

所属・職名・氏名

National University of Singapore, Assistant Professor Dr. Jianyong Ouyang

(3) 相手国参加者（代表者は除く）

氏名	所属・職名（国名）	研究協力テーマ
Fan Benhu	National University of Singapore, Research Engineer (シンガポール)	有機半導体材料の分子設計と合成
Sun Kuan	National University of Singapore, Ph.D candidate (シンガポール)	有機半導体材料の分子設計と合成
Xia Yijie	National University of Singapore, Ph.D candidate (シンガポール)	有機薄膜デバイス作製と薄膜凝集構造評価
Mei Xiaoguang	National University of Singapore, Ph.D candidate (シンガポール)	有機薄膜デバイス作製と光電子物性評価

6. 研究実績概要（全期間を通じた研究の目的・研究計画の実施状況・成果等の概要を簡潔に記載してください。）

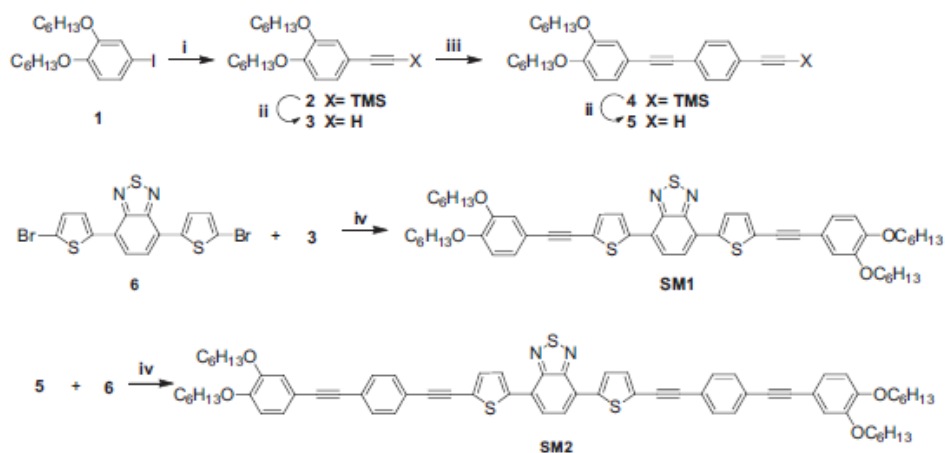
有機トランジスタの高性能化および新デバイスへの展開

有機半導体の基本特性の向上のためには、有機半導体自身の移動度の向上や電極と有機層界面における電荷注入障壁の低減、さらには、有機分子の高次構造（凝集状態）を制御することが極めて重要である。そこで、本研究では、①酸化モリブデン等の酸化物を有機半導体層と電極の間に挿入したり、グラフェン等の新規材料による電荷注入障壁の低下、②高移動度の実現を目指した新規有機半導体の合成、③有機ナノ構造体の導入について検討を行った。

九大研究チームは、これまでに、有機トランジスタ、有機太陽電池、有機 EL 等の有機半導体デバイスのデバイス作製や評価に関して幅広い経験と技術を保有しており、一方、国立シンガポール大学の Jianyong Ouyang 教授は、有機半導体材料合成に関して、精力的な研究開発を進めてきた。そこで、両機関が連携を図り、材料合成とデバイス作製・物性評価を連結させることで、飛躍的な素子性能の向上を目指した。両機関で詳細な議論を行うために、相互に研究室を訪問し、研究セミナー、国際会議開催を通して議論を精力的に行なった。

有機トランジスタに関しては、数 nm の MoO_x を有機半導体層に蒸着するだけで、大きなドーピング効果を確認でき、ソース・ドレイン電極と有機半導体層界面でオーミック接合を形成することができた。また、グラフェン薄膜を有機半導体における電極として利用することを目指し、層状グラフェン電極の作製方法について検討を進めた。今回は、有機トランジスタ等の実デバイスへの適用まで実験を進めることができなかったが、今後、継続して研究を進める予定である。

有機太陽電池においては、シンガポール大学で開発された新規電子輸送材料を用い、デバイスの最適化について検討を行った。有機薄膜太陽電池は低温・低コストでのデバイスの作製が可能であり、次世代の太陽電池として期待されているが、低コスト化のためには、大面積化が容易なスピコート等の湿式成膜が必要とされている。また、有機半導体において、これまでに P3HT に匹敵する新規 p 型半導体の創出がきく期待されている。そこで、本研究では、下図に示す新規電子輸送材料、dithienyl-2,1,3-benzothiadiazole (TBT) を合成し、有機太陽電池へ適用した。この新規材料は、中心骨格のチアチ



アゾール環と剛直なチエニル骨格によって π 共役系が広がっており、これによって、良好なp型半導体的な性質が発現している。また、複数のアルキル鎖の存在によって、様々な有機溶媒にも可溶性を有する。この材料をp型半導体であるP3HTと混合することによって太陽電池の作製を試みた。その結果、SM2において、ミクロ相分離を伴った良好な成膜性が得られ、最大エネルギー変換効率も0.66%が得られた。(Zhonglian Wu, Benhu Fan, Feng Xue, Chihaya Adachi, Jianyong Ouyang, *Solar Energy Mat.* **94**, 2230 (2010))。このように、SM2が新規の電子輸送剤として機能していることが確認され、今後、さらなる分子骨格の検討によって、高性能な太陽電池の実現に繋がるものと期待される。

また、有機太陽電池の特性を飛躍的に向上させる手段の一つとして、素子内へのナノピラーなどのナノ構造体の導入が非常に有効である。これによって、p-n界面の増加による電荷分離特性の向上や、電極へのキャリアパス形成による電荷輸送特性の向上が期待される。また、結晶性のナノピラー構造とすることで、キャリア移動度が向上し、厚膜化により光吸収効率の向上が期待できる。そこで、結晶性ナノピラー構造に注目し、PTCDA層によって配向制御を行ったCuPcの結晶核を用い、気相法により結晶性ナノピラー構造を作製し、太陽電池へ応用した。しかしながら、このデバイスにおいては変換効率が0.1%以下と低い値に留まっており、これは結晶の長さ、密度制御が不十分なため、十分な広さのp-n界面が得られず電荷分離が起こりにくかったことや、アクセプター層と陽極が接触している部分があり、十分な起電力が得られなかったためと考えられる。(Masaya Hirade, Hajime Nakanotani, Masayuki Yahiro and Chihaya Adachi, *Appl. Mat. Int.* **3**, 80-83, (2011))。また、結晶成長時の加熱により結晶核が凝集し、ピラーの低密度化が起こっていると考え、低温度領域での結晶成長により、結晶の高密度化、長さ制御を行うとともに、陽極と活性層の間にバッファ層を用いることがデバイス性能向上に重要であると考えられる。今後、継続して、素子特性の向上を目指して研究を継続していきたい。