

平成 22 年 6 月 3 日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2007 ～ 2009

課題番号：19750157

研究課題名（和文） 有機薄膜トランジスタのホール測定と歪みの効果

研究課題名（英文） Hall and strain effects on organic thin-film transistors

研究代表者

関谷 毅 (Tsuyoshi Sekitani)

東京大学・大学院工学系研究科・助教

研究者番号：80372407

研究成果の概要（和文）：プラスチックフィルム上に作製した有機トランジスタに対して、折り曲げ歪み下で精度の高いホール測定を行うことにより、フレキシビリティと分子構造、結晶粒界の関係を明らかにすることを目的とし取り組んできた。一連の研究を通じて、有機トランジスタのような高インピーダンスの Hall 測定技術を確立すると共に、結晶粒界内でのバンドライクな伝導と結晶粒界間の熱的励起（ホッピング）伝導が融合した特異な伝導機構を明らかにすることができた。また、これらの伝導が折り曲げ時にどのように変化するかについても、明らかにすることができた。これら基礎的な伝導機構解明を行う中で、新しいフレキシブルデバイスの開発に着手し、伸縮できるディスプレイや世界で初めてプラスチックフィルム上に大面積有機フラッシュメモリの開発にも成功した。一連の成果は 2009 年 5 月の英国 Nature Materials 誌や 12 月の米国 Science 誌の掲載され、話題を呼んだ。

研究成果の概要（英文）：Hall and strain effects on organic thin-film transistors

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	900,000	0	900,000
2008 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2009 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	690,000	3,890,000

研究分野：

科研費の分科・細目：

キーワード：有機トランジスタ、Hall 測定、フレキシブルトランジスタ

1. 研究開始当初の背景

申請者は、ポリイミドや PEN など高分子フィルムの上に、高分子ゲート絶縁膜や有機半導体を形成する技術を確立してきた。その結果、プラスチック基材上に作製された有機トランジスタが折り曲げられたとき、どのような伝導機構を有しているのか明確にしな

れば、あらゆる環境で安定して動作するフレキシブル回路の設計は不可能であることを示してきた。フレキシブル有機トランジスタの伝導現象をホール測定から調べることは、回路設計や実用化において重要であると考えられる。

2. 研究の目的

プラスチックフィルム上に作製した有機トランジスタに対して、折り曲げ歪み下で精度の高いホール測定を行うことにより、フレキシビリティと分子構造、結晶粒界の関係を明らかにすることを目的とし取り組んできた。

3. 研究の方法

一年目（平成 19 年度）にホール測定系の高精度化を目指し、低温同軸配線を用いた微小電流測定プローブを立ち上げ、フレキシブルなペンタセントランジスタのホール効果の温度依存性を詳細に調べることができた。また、サブフェムトリットルインクジェットを用いてデバイスの微細化に取り組み、チャンネル長 1 ミクロンの微細電極を持つ有機トランジスタの作成に成功した。

2 年目（平成 20 年度）には、ペンタセンとは異なる結晶構造を持つ有機物、例えば、銅フタロシアニン (CuPc)、チオフェン系高分子、NTCDI (N 型多結晶有機半導体) などの有機半導体を用いた有機トランジスタのホール測定を行い、分子間距離や結晶粒界が伝導メカニズムを明らかにしてきた。

最終年度（平成 21 年度）には、有機トランジスタに系統的な折り曲げ歪みを加えたときのホール測定を行い、伝導現象における分子間距離や結晶粒界の関係について調べることを目的とした。特に、Hall 測定を中心とした伝導特性と微小スポット径を持つ X 線回折装置や原子間力顕微鏡（現有）を用いて分子構造など構造変化との相関を明らかにすることができた。

4. 研究成果

一連の研究を通じて、有機トランジスタのような高インピーダンスの Hall 測定技術を確認すると共に、結晶粒界内でのバンドライクな伝導と結晶粒界間の熱的励起（ホッピング）伝導が融合した特異な伝導機構を明らかにすることができた。また、これらの伝導が折り曲げ時にどのように変化するかについても、明らかにすることができた。これら基礎的な伝導機構解明を行う中で、新しいフレキシブルデバイスの開発に着手し、伸縮できるディスプレイや世界で初めてプラスチックフィルム上に大面積有機フラッシュメモリの開発にも成功した。一連の成果は 2009 年 5 月の英国 Nature Materials 誌や 12 月の米国 Science 誌の掲載され、話題を呼んだ。

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 13 件）

- ① Tsuyoshi Sekitani, Tomoyuki Yokota, Ute Zschieschang, Hagen Klauk, Siegfried Bauer, Ken Takeuchi, Makoto Takamiya, Takayasu Sakurai, Takao Someya, “Organic Non-volatile Memory Transistors for Flexible Sensor Arrays”, Science, Vol. 326, pp.1516-1519 (2009).
- ② Tsuyoshi Sekitani, Hiroyoshi Nakajima, Hiroki Maeda, Takanori Fukushima, Takuzo Aida, Kenji Hata, Takao Someya, “Stretchable active-matrix organic light-emitting diode display using printable elastic conductors”, Nature Materials, Vol. 8, pp. 494-499 (2009).
- ③ Stretchable, Large-area Organic Electronics”, Advanced Materials, online , DOI: 10.1002/adma., 200904054 (2010).
- ④ Tsuyoshi Sekitani, Yoshiaki Noguchi, Kenji Hata, Takanori Fukushima, Takuzo Aida, Takao Someya, “A Rubberlike Stretchable Active Matrix Using Elastic Conductors”, Science, Vol. 321, pp. 1468-1472 (2008). Science Express DOI: 10.1126/science.1160309 (Published Online August 7, 2008)
- ⑤ Tomoyuki Yokota, Shintaro Nakano, Tsuyoshi Sekitani, and Takao Someya, “Plastic complementary microelectromechanical switches”, Applied Physics Letters, Vol. 93, 023305 (2008).
- ⑥ Shintaro Nakano, Tsuyoshi Sekitani, Tomoyuki Yokota, and Takao Someya, “Low operation voltage of inkjet-printed plastic sheet-type micromechanical switches”, Applied Physics Letters, Vol. 92, 053302 (2008).
- ⑦ Tsuyoshi Sekitani, Kazuki Hizu, and Takao Someya, “Air-stable operation of organic field-effect transistors on plastic films using organic/metal hybrid passivation layers”, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 46, Issue 7A, pp. 4300-4306 (2007).
- ⑧ T. Sekitani, M. Takamiya, Y. Noguchi, S. Nakano, Y. Kato, T. Sakurai, T. Someya, “A large-area wireless power-transmission sheet using printed organic transistors and plastic MEMS switches”, Nature Materials, Vol. 6, Issue 6, pp. 413-417 (2007).
- ⑨ Y. Noguchi, T. Sekitani, and T. Someya, “Printed shadow masks for organic transistors”, Applied Physics Letters, Vol. 91,

133502 (2007).

- ⑩ Xizhang Wang, Takao Someya, Tsuyoshi Sekitani, Yusaku Kato, and Shingo Iba, "Electrical characteristics of pentacene thin film transistors in volatile compound vapors", *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, Vol. 462, pp. 29-36 (2007).
- ⑪ Yasushi Takamatsu, Tsuyoshi Sekitani, and Takao Someya, "Temperature dependence of Hall effects in organic thin-film transistors on plastic films", *Applied Physics Letters*, Vol. 90, 133516 (2007).
- ⑫ Kazuki Hizu, Tsuyoshi Sekitani, Joe Otsuki, and Takao Someya, "Reduction of operation voltage in complementary organic thin-film transistor inverter circuits using double gate structures", *Applied Physics Letters*, Vol. 90, 093504 (2007).
- ⑬ Yusaku Kato, Tsuyoshi Sekitani, Makoto Takamiya, Masao Doi, Kinji Asaka, Takayasu Sakurai, and Takao Someya, "Sheet-type Braille displays by integrating organic field-effect transistors and polymeric actuators", *IEEE Transactions on Electron Devices*, Vol. 54, Issue 2, pp.202-209 (2007).

[学会発表] (計 9 件)

- ① (INVITED) Tsuyoshi Sekitani and Takao Someya, "Large-area Stretchable Organic Transistor Integrated Circuits for Sensor applications II", SPIE meeting, San Diego August 2010. (2010 年 8 月講演予定)
- ② (INVITED) T. Sekitani and T. Someya, "Stretchable, Printable Organic Transistor Integrated Circuits for Large-Area Sensors and Displays", #TuG3, The 21st Annual Meeting of the IEEE Lasers & Electro-Optics Society, Marriott Newport Beach Hotel & Spa, Newport Beach, CA, Nov. 9 -13, 2008.
- ③(招待講演) 関谷毅、染谷隆夫、“有機トランジスタの印刷プロセスと新応用”、第 62 回日本物理学会年次大会シンポジウム”進化”する有機トランジスタ、22pRA-8、北海道大学、2007 年 9 月 22 日。
- ④(招待講演) 関谷毅、野口儀晃、中野慎太郎、加藤祐作、高宮真、桜井貴康、染谷隆夫、“印刷技術を用いた有機トランジスタ・接点スイッチと大面積ワイヤレス電力伝送シート”、10.9 特定テーマ A 有機トランジスタ、北海道工業大学、2007 年 9 月 8 日。

⑤(ORAL) Tsuyoshi Sekitani, Shintaro Nakano, Yoshiaki Noguchi, Yusaku Kato, Makoto Takamiya, Takayasu Sakurai, and Takao Someya, "Organic Transistor circuits for large-area power wireless power transmission sheet", 3rd Annual Organic Microelectronics Workshop, Seattle, Washington, July 8 - 11, 2007.

⑥ (INVITED) Tsuyoshi Sekitani and Takao Someya, "Skin-like sensors and actuators interacting with people", Session 8: FLEXIBLE SENSORS AND ACTUATORS, International Symposium on Flexible Electronics (ISFE) Tarragona, Spain, April 6-9, 2008.

⑦ (INVITED) Tsuyoshi Sekitani, Yoshiaki Noguchi and Takao Someya, "Stretchable, Large-area Active Matrixes Comprising Organic Transistors for the Application to the Electrical Artificial Skins", #M1.1, SYMPOSIUM M "Materials and Technology for Flexible, Conformable, and Stretchable Sensors and Transistors", Moscone West Convention Center, San Francisco, U.S.A, March 24-28, 2008.

⑧(ORAL) Tsuyoshi Sekitani, Yoshiaki Noguchi, Ute Zschieschang, Hagen Klauk, and Takao Someya, "Ultra-fine, low-voltage organic transistors employing inkjet technology with sub-femtoliter accuracy", Material Research Society (MRS) Spring Meeting, Symposium AA, Moscone West Convention Center, San Francisco, U.S.A, March 23-28, 2008.

⑨(ORAL) Tsuyoshi Sekitani, Yoshiaki Noguchi, Shintaro Nakano, Koichiro Zaitzu, Yusaku Kato, Makoto Takamiya, Takayasu Sakurai, and Takao Someya, "Communication sheets using printed organic nonvolatile memories", 2007 IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM), #9.3, pp. 221-224, Washington D.C., December 10-12, 2007.

[図書] (計 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計◇件)

名称：

発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等
<http://www.ntech.t.u-tokyo.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者
()

研究者番号：

(3) 連携研究者
()

研究者番号：