

染谷 隆夫

東京大学 大学院工学系研究科 教授

大面積ナノシステムのインタフェース応用

§ 1. 研究実施の概要

大面積ナノシステムのインタフェース応用を目指し、研究を進めている。初年度(平成 21 年度)は、以下に示す個々の要素技術に関する研究に取り組み、ナノシステムの礎を築いてきた。

自己組織化ナノ機能の研究項目については、自己組織化単分子膜を用いた有機フローティングゲートトランジスタの作製技術の確立と素子構造の最適化を行ってきた。特に、自己組織化膜を形成する前処理プロセスとして酸素プラズマを用いるが、このプラズマ条件が自己組織化膜の均一性、絶縁性に大きな影響を与えることが先行研究より分かっていた。初年度に、高真空プラズマ装置を導入することで、真空度、プラズマパワー、ガス流量をパラメータとして、保持時間、書き込み消去回数とのメモリ性能を明らかにすることができた。

ナノ印刷の研究項目については、初年度に、アトリットルインクジェットを用いて有機半導体上に数ミクロンの微細電極を形成して、電流-電圧特性を詳細に調べた。これにより、自己組織化単分子膜を透過してくるトンネル電流を評価し、メモリ性能との相関を明らかにすることができた。特に、インクの選定に重点を置き取り組むことで、インク吐出電圧を精度よく制御することができ、有機半導体上に1~2ミクロンの電極を安定して描画できる基盤技術を整えることができた。

アクチュエータを用いた電子ペーパーの試作に関しては、アクチュエータ素子の作製と最適化に取り組んだ。ナノチューブを用いたアクチュエータのプロセス最適化を通して、応答速度1Hz以上、変位電圧2V、変位量0.3mmなど、低電圧駆動ながら大きな変位量を実現することができた。さらに、自己組織化単分子膜を用いた低電圧駆動の有機トランジスタとアクチュエータの集積化技術を確立し、1セルでのディスプレイセルの動作確認に成功した。

初年度の取り組みを通して、各項目の要素技術を確立し、お互いの集積化への道筋をつけることができた。

§ 2. 研究実施体制

(1)「染谷隆夫」グループ

① 研究分担グループ長： 染谷 隆夫（東京大学、教授）

② 研究項目

大面積デバイス技術

(2)「桜井 貴康」グループ

① 研究分担グループ長： 桜井 貴康（東京大学、教授）

② 研究項目

大面積集積回路設計

§ 3. 研究実施内容

(文中に番号がある場合は(4-1)に対応する)

初年度（平成 21 年度）における個々の要素研究に関する実施内容は以下のとおりである。

《研究項目 1》自己組織化ナノ機能

自己組織化ナノ機能の研究項目については、自己組織化単分子膜を用いた有機フローティングゲートトランジスタの作製技術の確立と素子構造の最適化を行ってきた。特に、自己組織化膜を形成する前処理プロセスとして酸素プラズマを用いるが、このプラズマ条件が自己組織化膜の均一性、絶縁性に大きな影響を与えることが分かっていた。初年度に、高真空プラズマ装置を導入することで、真空度、プラズマパワー、ガス流量をパラメータとして、これらのプロセス条件と保持時間、書き込み消去回数などのメモリ性能との関連性を明らかにすることができた。

この成果として、プラズマパワーの高精度制御が自己組織化単分子膜の形成に最も重要であることがわかり、表面が平坦なガラスやシリコンウエハー基板のみならず、表面が平坦ではないプラスチックフィルム基板などにも安定して、自己組織化膜を形成する基盤技術を確立した。さらには、自己組織化単分子膜の分子長制御により、耐圧5MV/cm以上に引き上げることに成功した。一連のプロセス最適化を通して、メモリの高性能化、特に高速書き込み化への道筋をつけることができた²⁾。

《研究項目 2》ナノ印刷

ナノ印刷の研究項目については、初年度に、アトリットルインクジェットを用いて有機半導体上に数ミクロンの微細電極を形成して、自己組織化単分子膜を透過してくるトンネル電流を詳細に調べ、メモリ性能との相関を明らかにすることができた。特に、インクの選定、調整に重点を置き取り組むことで、インク吐出電圧を精度よく制御することができるようになり、有機半導体上に1～2ミクロンの電極を安定して描画できる基盤技術を整えることができた。

この成果として、プラスチックフィルムを基板とする有機トランジスタのソースドレイン電極作成

にアトリットルインクジェット印刷を用いることに成功し、駆動電圧を 3V、移動度 $0.5 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ を達成することができた。さらには、有機 CMOS インバーターや、リングオシレーターなどの有機回路の作製にも成功し、100kHz に近い周波数応答を達成するなど、印刷による微細電極作製において目覚ましい成果があった¹⁾。

《研究項目3》大面積ナノシステムの試作と実証実験

アクチュエータを用いた電子ペーパーの試作に関しては、アクチュエータ素子の作製と最適化に取り組んだ。特に、ナノチューブを用いたアクチュエータのプロセス最適化を通して、アクチュエータ単体の性能として、応答速度1Hz 以上、変位電圧2V、変位量0.3mmと低電圧駆動ながら大きな変位量を実現することができた。

この最適化を通して、アクチュエータの高速動作には、ナノチューブ電極の高導電率化がもっとも有効であるとの研究結果に至った。現在の導電率は、10S/cm 程度であるが、ナノチューブの高度分散化技術を展開することで、100S/cm 程度まで高導電率化を行い、次年度以降に、更なる高速動作化を目指す。アクチュエータの動作制御を実現するための低電圧駆動有機トランジスタ回路の作製においては、材料の選定と最適化に取り組んだ。アクチュエータの動作制御には、3Vで1mA 以上の電流を要するため、既存の代表的な有機半導体ペンタセンでは、チャンネル幅/チャンネル長比が、10,000以上なければ到達することができず、限られた基板面積の中で、アクチュエータ動作に必要な性能を得ることができない。本研究では、高移動度の低分子有機半導体ジナフトエノチオフェン(DNTT)を半導体層に用いることで、3V 駆動で移動度 $2 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ を得ることに成功し、電流量 10mA を実現した。これにより、自己組織化単分子膜を用いた低電圧駆動の有機トランジスタとアクチュエータの集積化技術を確立し、1セルでのディスプレイセルの動作確認に成功した³⁾。

§ 4. 成果発表等

(4-1) 原著論文発表

● 論文詳細情報

1. T. Sekitani and T. Someya, "Stretchable, Large-area Organic Electronics", *Advanced Materials*, Published Online: Mar 12 2010 4:14AM DOI: 10.1002/adma.200904054.

2. Kenjiro Fukuda, Tomoyuki Yokota, Kazunori Kuribara, Tsuyoshi Sekitani, Ute Zschieschang, Hagen Klauk, and Takao Someya, "Thermal stability of organic thin-film transistors with self-assembled monolayer dielectric", APPLIED PHYSICS LETTERS, 96, 053302 (2010)
3. K. Ishida, N. Masunaga, Z. Zhou, T. Yasufuku, T. Sekitani, U. Zschieschang, H. Klauk, M. Takamiya, T. Someya, and T. Sakurai, "Stretchable EMI Measurement Sheet With 8 X 8 Coil Array, 2 V Organic CMOS Decoder, and 0.18 um Silicon CMOS LSIs for Electric and Magnetic Field Detection," IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol.45, No.1, pp.249-259, Jan. 2010. (10.1109/JSSC.2009.2034446)