

ユビキタス情報社会に整合する無線タグ用プラスチック FET の試作研究 (032103011)

Plastic FETs for wireless tag application in ubiquitous IT era)

染谷 隆夫 東京大学大学院工学系研究科
Takao Someya University of Tokyo

川口 博
Hiroshi Kawaguchi
神戸大学工学部情報知能工学科
Kobe University

研究期間 平成 15 年度～平成 17 年度

概要

本研究では、ユビキタス情報社会のキーテクノロジーである無線タグの爆発的な普及を狙い、低コスト化で重要な役割を担う有機トランジスタとその集積回路を独自の手法で高性能化する研究を進めた。その結果、以下の成果を挙げることができた。(1) 有機トランジスタの集積回路を製作するため、レーザー加工応用や貼り合わせの手法など数々のブレークスルー技術を実現し、特許 5 件を申請した。(2) ゲート絶縁膜や有機半導体層に検討を加え、クニャクニャと曲げられる(曲げ半径 0.5mm)有機トランジスタの作製技術を確認し、世界最高の移動度 ($1.4\text{cm}^2/\text{Vs}$)を実現した。(3) ゲート絶縁膜、電極、配線部分をすべてインクジェットによって塗布し、移動度 $0.1\text{cm}^2/\text{Vs}$ という高性能な有機トランジスタを実現した。

Abstract

In this research, we aimed at the explosive spread of the radio-frequency identification (RFID) tags which are the key technology of a ubiquitous information society, and conducted research to improve the performance of organic field-effect transistors (FETs) and their integrated circuits which bear an important role in manufacturing of ultra low cost RFID tags. As a result, we have established the process to manufacture high-quality organic FETs that exhibit much mechanical flexibility (bending radius $\sim 0.5\text{mm}$) and high mobility $\sim 1.4\text{ cm}^2/\text{Vs}$.

1. まえがき

このユビキタス情報活用時代のキーテクノロジーである無線 ID タグについては、その普及に向けての動きが活発になってきている。電波法の改正など規制緩和も進み、かつ、設置手続きも簡素化され、その導入も容易となりつつある。しかしながら、無線 ID タグの爆発的な普及のためには、徹底した低コスト化が重要な課題であり、まだまだ無線タグの用途は、限られていると言わざるを得ない。この目的の達成には、シリコンやガリウム砒素など既存の無機半導体を基盤とした従来型のデバイス群で対応することは不可能であり、大きな設備投資を必要とせず、機能素子が実現できるプラスチック集積回路に大きな期待が集まっている。

本研究では、ユビキタス情報社会のキーテクノロジーである無線タグの爆発的な普及を狙い、低コスト化で重要な役割を担うプラスチック電界効果トランジスタ (FET) を独自の張り合わせ法とナノ印刷の手法で微細化する研究を推進した。特に、無線回路への応用を目指して、周波特性を大幅に改善することを目的としている。より具体的には、プラスチック FET を無線タグに応用するために、次のテーマを柱としたデバイス研究に取り組んだ

2. 研究内容及び成果

本研究では、ユビキタス情報社会のキーテクノロジーである無線タグの爆発的な普及を狙い、低コスト化で重要な役割を担う有機トランジスタとその集積回路を独自の手法で高性能化する研究を進めた。その結果、以下の特筆すべき成果を挙げることができた。

- (1) 有機トランジスタの集積回路を製作するため、レーザー加工応用や貼り合わせの手法など数々のブレークスルー技術を実現し、3年間の合計で特許 5 件を申請した。
- (2) ゲート絶縁膜や有機半導体層に検討を加え、クニャクニャと曲げられる有機トランジスタの作製技術を確認した。特に、デバイス構造を最適化して歪の影響を低減することによって、曲げ半径が 0.5mm (世界最小値)でも劣化せずに動作するトランジスタを製造することに成功した。
- (3) 有機トランジスタのチャンネル長を微細化することによって、電流利得測定におけるカットオフ周波数を 73kHz まで改善した。さらに、張り合わせ法を用いてトップコンタクト型の有機トランジスタ

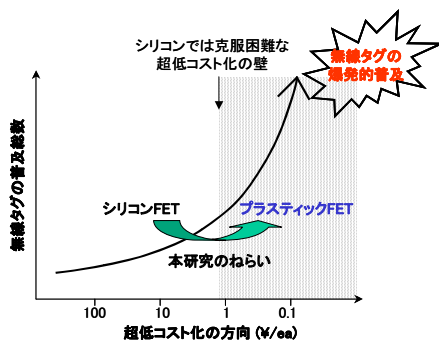


図 1

無線タグによってシームレスに「もの、環境、ひと」がハイパーリンクされた世界こそが、ユビキタス情報活用社会の本質である。しかし、その実現には、無線タグの大幅なコストダウンを可能にする革新的デバイス技術が必要だ。

を5ミクロンまで微細化した結果、ゲート接地で900kHzのスイッチングを確認することができ、目標に掲げた125kHzの回路で使えるFET(単体としての性能は125kHzの5-10倍程度必要)という点はほぼ達成された。

- (4) 物理的に「切ったり貼ったり」しながら構築する新しい集積回路の概念を提唱・立証した。また、世界で初めて有機トランジスタの3次元回路を実現し、大幅な低消費電力化と高速化が実現できることを実験的に検証することに成功した。
- (5) 有機トランジスタは、電圧を印加すると閾値電圧がドリフトするという問題(DCバイアスストレス)が指摘されていた。本研究では、有機トランジスタを窒素雰囲気にて140度でアニール処理を12時間程度行うことによって、大幅にDCバイアスストレスの問題を低減できることを見出した。具体的には、大気中にて電圧40Vを10日間以上印可し続けても、飽和電流の変化分を1%以下に抑えることができた。
- (6) ゲート絶縁膜、電極、配線部分をすべてインクジェットによって塗布し、移動度0.1cm²/Vsという高性能な有機トランジスタを実現した。低コストプロセスによる有機トランジスタの製造は、本研究プロジェクトでも主要目標の一つであり、最終年度までにほぼ予定の研究成果を達成することができた。

一連の研究成果は、エレクトロニクス分野のオリンピック級国際会議と言われるISSCC(固体回路国際会議、参加者3500名)で3件、IEDM(固体素子国際会議、参加者2000名)で4件、相次いで報告された(いずれも数値は3年間の合計)。この二つの最高峰の学会で発表した若手日本人研究者は近年例を見ない。また、米国科学アカデミー紀要(PNAS)3編、米国Science誌1編など権威ある学術雑誌で報告された。2005年には、IEDMやInternational Display Workshops(IDW)をはじめとする大規模な国際会議(参加者200名規模以上)において14件の招待講演、国内外で50件以上の依頼講演を行った。これらの研究成果は、IEEEをはじめとする学会においても非常に高い評価を得つつある。特に、染谷は有機トランジスタ集積回路に関する最近の業績が認められ、IEEE Electron Device Society(EDS)よりDistinguished Lecturerの認定を受けた。また、有機集積回路の新概念の功績に対して、IEEE/ISSCCより2005年のTakuo Sugano Awardを受賞するなど、プロジェクト開始から3年程度の研究成果に対して、極めて大きな賞賛が寄せられている。国内では、文部科学大臣表彰・若手科学者賞(2005年4月)ならびに丸文学術賞(2006年3月)などを受賞した。

また、朝日新聞、NHK、米国Washington Post、英国BBCをはじめ、世界で200以上の新聞・テレビ報道を通して、専門家のみならず社会にも広く紹介され、高い評価を得ている。米国Time誌上にて2005年のThe best inventions of the yearに選定(2005年11月14日号掲載)されるなど、国内のみならず、グループの貢献は国際的にも認知されている。

さらに、大手企業から中小企業まで多種多様な業種から連携の打診を受けており、今後大きな発展を遂げて、日本のエレクトロニクス産業の起爆剤となる可能性についても明るい兆しが見えてきている。有機トランジスタ集積回

路技術は、多方面への波及効果が期待され、筆者らは複数の企業と実用化に向けた共同研究を開始している。基礎と応用を結びつける研究が進んだことにより、有機トランジスタはシリコン産業との相乗効果を生み、飛躍的に発展していくと期待される。

3. むすび

本研究によって、125kHz無線回路で動作可能な有機トランジスタが実現され、将来的に低コストの無線タグを実現することに道が拓かれた。無線タグ普及の鍵を握るのは低コスト化である。現在の無線タグが、微細化されたシリコンのチップと受動素子の集積化で作製されている以上、バーコードのようにただ同然にあらゆるものに付けるといわけにはいかない。特に、アセンブリコストが高く、無線タグがバーコードに迫るのは無理と見られていた。今後、デバイス関連技術と通信システム関連技術の両方に大きな波及効果をもたらすと期待される。

【誌上发表リスト】

- [1] Takao Someya, Yusaku Kato, Tsuyoshi Sekitani, Shingo Iba, Yoshiaki Noguchi, Yousuke Murase, Hiroshi Kawaguchi, and Takayasu Sakurai, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, Volume 102, Issue 35, pp.12321-12325 (August 30, 2005).
- [2] Takao Someya, Hiroshi Kawaguchi, and Takayasu Sakurai, 2004 IEEE International Solid-State Circuits Conference (ISSCC 2004), 16.2, 288-289 (February 14-19, 2004).
- [3] Yusaku Kato, Shingo Iba, Ryohei Teramoto, Tsuyoshi Sekitani, Takao Someya, Hiroshi Kawaguchi and Takayasu Sakurai, Applied Physics Letters, Vol. 84, No. 19, pp. 3789-3791 (10 May 2004), 27

【申請特許リスト】

- [1] 出願番号：特願第2003-381178, 発明者：染谷隆夫, 桜井貴康, 川口博, 関谷毅, 発明の名称：フレキシブル検知装置, 出願日：2004.11.11
- [2] 出願番号：特願第2004-102748, 発明者：染谷隆夫, 桜井貴康, 川口博, 関谷毅, 発明の名称：非単結晶トランジスタ集積回路及びその製造方法, 出願人：東京大学長, 出願日：2004.03.31
- [3] 出願番号：特願第2003-298697, 発明者：染谷隆夫, 荒川泰彦, 北村雅季, 発明の名称：有機トランジスタの製造方法及び有機トランジスタ, 出願日：2004.08.22

【受賞リスト】

- [1] T. Someya, IEEE/ISSCC Takuo Sugano Outstanding Paper Award (February 7, 2005)
- [2] 染谷隆夫, 平成17年度科学技術分野の文部科学大臣表彰 (2005年4月20日)
- [3] 染谷隆夫, 丸文学術賞 (丸文研究交流財団、2006年3月6日)

【報道発表リスト】

- [1] 米国Time誌、2005年11月21日
- [2] The Washington Post、2005年8月15日
- [3] 英国BBC、2005年8月15日

【ホームページによる情報提供】

<http://www.ntech.t.u-tokyo.ac.jp/>