

Title	Studies on organic transistors based on novel operation principle
Author(s)	藤本, 慎也
Citation	大阪大学, 2006, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/46866
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について <a>〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	藤本慎也
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 20270 号
学位授与年月日	平成 18 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科物質・生命工学専攻
学位論文名	Studies on organic transistors based on novel operation principle (新しい動作原理に基づく有機トランジスタに関する研究)
論文審査委員	(主査) 教授 横山 正明 (副査) 教授 伊東 一良 教授 高井 義造 教授 金谷 茂則 教授 菊地 和也 教授 福住 俊一 教授 宮田 幹二

論文内容の要旨

近年、有機半導体と呼ばれる一群の有機材料が、安価でフレキシブルな電子デバイス材料として非常に注目を集めている。すでに有機 EL 発光デバイスが実用レベルに達したことから、次の実用ターゲットとして有機トランジスタの研究が盛んに行われている。有機トランジスタの大半の研究は、無機半導体で一般的な電界効果型トランジスタ (FET) 構造を用いて行われているが、有機半導体はキャリア移動度が低いため高性能デバイスの作製は困難である。

本論文は、無機半導体デバイスの枠組みから離れて、有機材料の特長を活かしたデバイス設計が必要であると考え、有機材料特有の 2 種の新しい動作原理に基づく有機トランジスタを提案し、高性能有機トランジスタの開発を目指して行った研究をまとめたもので、緒言、本論 6 章、および総括からなる。

第 1 章では、有機材料特有の有機/金属界面で起る光電流増倍現象をモデルとした、「電荷注入制御型有機トランジスタ」を提案し、増倍電流の引き金となるホールを有機薄膜中に埋め込んだ第 3 の電極から注入することで、低電圧印加で大きな電流変調を観測するとともに電流増幅率が 70 倍に達することを見出し、本デバイスがトランジスタとして動作することを実証した。

第 2 章では、電荷注入制御型有機トランジスタの性能向上の指針を検討し、素子構造の改良を行うことで電流増幅率を最大 3000 倍に向上させることに成功した。

第 3 章では、電荷注入制御型有機トランジスタの研究過程で、有機半導体/金属/有機半導体を積層するだけでトランジスタ動作が起る新たな現象を発見し、「メタルベース有機トランジスタ」と名付けて検討を行い、わずか数ボルトの電圧印加で 300 mAcm^{-2} を超える大電流の変調に成功した。また、トランジスタ特性が上下の有機半導体薄膜の組み合わせと中間電極の膜厚に大きく依存することを明らかにした。さらに本デバイスの電流増幅率は 100 倍以上、周波数特性は 30 kHz で、簡単な構造、作製法にも関わらず、実用化に必要な特性の大半を持ち合わせていることを見出した。

第 4 章では、メタルベース有機トランジスタの動作原理を挿入電極の被覆率、電流成分析の観点から検討を行い、電子が面状のベース電極をホットエレクトロンとして透過することで、トランジスタとして動作していることを解明した。

第5章では、メタルベース有機トランジスタの高性能化を試み、On/Off比の向上、さらなる低電圧化を実現した。
第6章では、提案したトランジスタのペーパーディスプレイへの応用を目指し、有機 EL 駆動を行った。その結果、これまでに報告されている有機トランジスタに比べて、非常に低電圧で有機 EL のスイッチングが行えることを実証した。

論文審査の結果の要旨

本論文は、安価でフレキシブルな電子材料として注目を集めている有機半導体を用いたトランジスタを実現するために、新しい動作原理に基づく2種の有機トランジスタを提案し、簡単な作製法で高性能な有機トランジスタを実現した成果をまとめたもので、序章、本論6章、および総括で構成されている。

序章では、大半の有機トランジスタ研究が、無機半導体で一般的な電界効果型トランジスタ (FET) 構造を対象として行われていることに対し、キャリア移動度の低い有機材料では実用レベルの性能を発揮することが困難である現状を俯瞰することで、有機材料特有のデバイス設計が必要であることを明確にし、本研究の目的と意義について述べている。

第1章では、有機材料特有の現象である光電流増倍現象をモデルとした、「電荷注入制御型有機トランジスタ」を提案し、増倍電流の引き金となるホールを有機薄膜中に埋め込んだ第3の電極から注入することで、低電圧印加で大きな電流変調を観測するとともに電流増幅率が70倍に達することを見出し、本デバイスがトランジスタとして動作することを実証している。

第2章では、電荷注入制御型有機トランジスタの性能向上の指針を検討し、素子構造の改良を行うことで電流増幅率を最大3000倍に向上させることに成功している。

第3章では、電荷注入制御型有機トランジスタの研究過程で、有機半導体/金属/有機半導体を積層するだけでトランジスタ動作が起こる新たな現象を発見し、「メタルベース有機トランジスタ」と名付けて検討を行い、わずか数ボルトのベース電圧印加で 300 mAcm^{-2} を超える大電流変調に成功している。また、トランジスタ特性が上下の有機半導体薄膜の組み合わせと中間ベース電極の膜厚に大きく依存することを明らかにしている。さらに本デバイスの電流増幅率は100倍以上、周波数特性は30 kHzで、簡単な構造、作製法にも関わらず、実用化に必要な特性の大半を持ち合わせていることを明らかにしている。

第4章では、メタルベース有機トランジスタの動作原理を挿入電極の被覆率、電流成分析の観点から検討を行い、電子が面状のベース電極をホットエレクトロンとして透過することでトランジスタとして動作していることを解明している。

第5章では、メタルベース有機トランジスタの高性能化のために、エミッタ電極を検討し、On/Off比の向上、さらなる低電圧化を実現している。

第6章では、提案したトランジスタを用いて有機 EL 発光デバイスの駆動を検討し、これまでに報告されている有機トランジスタに比べて非常に低電圧で有機 EL 発光デバイスのスイッチングが行えることを実証している。

最後に、本研究で得られた結果を総括している。

本論文において得られた成果を要約すると次の通りである。

- (1) 有機/金属界面で起る光電流増倍現象をモデルとした電荷注入制御型有機トランジスタを新たに提案し、低電圧印加で大電流変調が可能なトランジスタの作製に成功し、有機材料の特性を生かした新しい動作原理にもとづく高性能有機トランジスタの可能性を示している。
- (2) 電荷注入制御型有機トランジスタにおいてベース電極構造に絶縁物メサ型構造を導入することによって漏れ電流を抑制し、3000倍に及ぶ高い電流増幅率を達成し、電荷注入制御型有機トランジスタが本質的に高いポテンシャルを有することを明らかにしている。
- (3) さらに電荷注入制御型有機トランジスタとは異なるもう一つの新しい動作原理に基づくメタルベース有機トラ

ンジスタを開発し、有機/金属/有機の単純な積層構造にも関わらず、 30 mAcm^{-2} を超える、有機材料として非常に大きな電流変調に成功している。また、有機物の組み合わせ、挿入電極膜厚がトランジスタ性能を決定する重要な因子であることを明らかにしている。

- (4) メタルベース有機トランジスタの動作メカニズムを検証し、有機材料としては報告例が無いホットエレクトロンプロセスによるベース電極透過機構によることを明らかにしている。
- (5) メタルベース有機トランジスタのエミッタ電極/有機接合における電子注入特性の改良ならびにベース電極の改良によって高性能化を行い、 3 V 以下の低電圧でのトランジスタ駆動と 300 倍以上の On/Off 比を実現している。
- (6) メタルベース有機トランジスタを用いて有機 EL 発光デバイスのスイッチングを検討し、 4 V の駆動電圧で 600 cdm^{-2} を超える大きな輝度変調に成功、提案したトランジスタが従来の有機トランジスタの性能を凌駕しており、実用レベルの性能を有していることを実証している。

以上のように、本論文は、安価でフレキシブルな電子材料として注目を集める有機半導体を用いたトランジスタの実現に向け、有機材料の特徴を生かした新しい動作原理にもとづく有機トランジスタを開発し、簡単な構造で実用レベルの性能を有するトランジスタの開発に成功している。これらの成果は有機トランジスタの実用化に向けた多くの新しい知見を得ており、材料物性化学、有機材料化学の発展に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。