

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 9 日現在

機関番号：82118

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25610062

研究課題名(和文)有機TFTを利用した薄型大面積高精細光センサーの研究

研究課題名(英文)Research of large area high-definition optical sensor using organic TFTS

研究代表者

村上 武 (MURAKAMI, TAKESHI)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・加速器科学支援センター・シニアフェロー

研究者番号：40391742

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、有機半導体材料に結晶性及び移動度が最高性能を持つ材料としてジナフトチエノチオフェン(DNTT)を選択し、有機半導体薄膜トランジスタ(有機TFT)を製作し、トランジスタの電流増幅率の多い最適なデバイスデザインを決める。製作したデバイスに光照射して、ドレイン電流の変化・増幅度と波長依存性及びパルス光応答速度について測定研究するのが目的である。有機TFTを高速高感度の光センサーとして使用する試みは初めてで、本研究の成果は新しい量子光検出増幅素子の基礎となり、検出器・読み出し回路も含んだ測定器を製作することが可能となる。

研究成果の概要(英文)：In this study, DiNaphthoThienoThiophene (DNTT), which equips good stability of crystalline and higher mobility, has chosen to produce the organic semiconductor thin-film transistor (organic TFT). At first, the device design has optimized to have higher electric current amplification rates as the transistor. The target of this study is to measure the amplification degree of the drain electric current, the wavelength dependence and the pulse response speed by irradiating photons. This is a first basic study to adopt the organic TFT to an optical sensor with the high-speed pulse response and high photon sensitivity. The results of this study can feed back to produce the measuring instrument including a detector and readout circuit.

研究分野：エレクトロニクス

キーワード：有機半導体 光検出器 エレクトロニクス 粒子測定技術

1. 研究開始当初の背景

高エネルギー物理実験においては、光検出器が色々利用されている。本研究では、低物質質量薄型で湾曲可能な低コスト大面積高精細光検出増幅素子を実現するための開発の基礎を固める。

2. 研究の目的

本研究では、有機半導体薄膜トランジスタ(有機 TFT)を使用した新しい構造の光検出増幅素子を提案し、その光電気変換効率とその波長依存性及びパルス光応答速度について測定する。これによって現在の有機半導体材料の応用範囲を明確にしつつ、低物質質量薄型で湾曲可能な低コスト大面積高精細光検出増幅素子を実現するための開発の基礎を固める。

有機 TFT を高速高感度の光センサーとして使用する試みは初めてで、本研究の成果は新しい量子光検出増幅素子の基礎となる。更に本研究を基に検出器読み出し回路も含んだ測定器を製作することが可能である。

3. 研究の方法

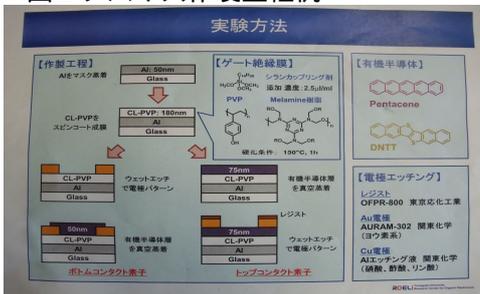
本研究期間は3年間なので、各年度での研究進捗をまとめ報告する。初年度は、有機半導体薄膜トランジスタのデザインを検討し、デバイスは研究分担者である山形大学・有機エレクトロニクス研究センター(熊木)で、製作した。完成したデバイスは KEK・先端計測実験棟クリーンルーム内に測定セットアップを作り、下記事項の測定を行い、有機半導体薄膜トランジスタの特性を研究する。

(1) デバイス作製装置(山形大学有機エレクトロニクス研究センター)

図1 蒸着装置



図2 デバイス作製工程例



(2) 測定セットアップ

デバイスは常時デシュケーター内(温度・湿度一定)で保管し、測定時には暗箱等内から BNC ケーブルを介して測定する。デバイス検出部

からパターンで引き出したパッドが4隅に配置してあり、パッドをクリップして各信号は BNC ケーブルを介して測定器(Semiconductor Characterization System)に入る。測定器で、Vgs-id, Vds-id 測定プロットを観測する。

(3) デバイス・デザイン構造の検討  
デバイスは0.125mm厚みの pen フィルム上にパターン形成してあり、全体の大きさ 80mm 角である。デバイス写真を図3に示す。フィルム上にゲート電極のメタルマスク(AI)を帯状に、その上にソース/ドレインパターンをフォトリソ(Au)し、その上に有機半導体(DNTT)をメタルマスクする。デザイン図拡大を図4に示す。ソース/ドレインチャンネル間隔(L)5μm, 20μm, 50μm, 100μm、ソース/ドレインチャンネル幅(W)を100μm, 200μm, 500μm, 1000μm(この部分が有機 TFT)。そこからパターンで引き出したパッドが4隅に配置してある。

図3 デバイス写真

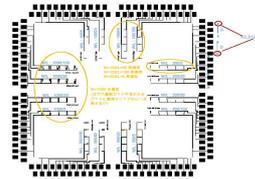
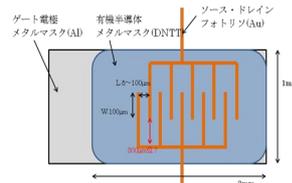


図4 デバイスデザイン図



(4) 有機半導体薄膜トランジスタの特性 Vgs-id, Vds-id 測定プロットを観測する。物理的特性の把握。

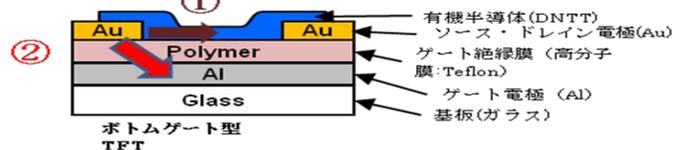
測定の再現性、信頼度を高める。

(5) 光波長依存性の測定  
分光器を使用して照射波長 380nm から 800nm まで 20nm ステップで測定・解析する。

(6) 光収集効率を上げるための構造  
デバイス全てのパターンの Vds-id 測定を行い、ドレイン電流増幅率の多い最適な L/W 値を決める。

(7) ゲートの漏れ電流測定  
Vds-id 測定から、ゲート帯あり、なしでのドレイン電流を比較する。漏れ電流のルートを図5の赤矢印に示す。

図5 ゲート漏れ電流の流れ



①: 正常な生成電荷の流れ  
②: 生成電荷が漏れる状況

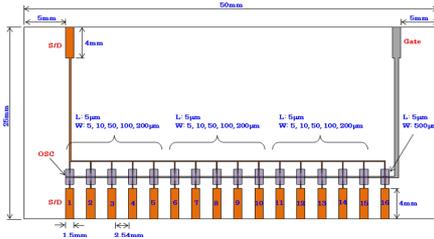
(8) 有機半導体薄膜トランジスタのドレイン電流の変化を電圧にする(I-V)。

有機半導体部にストロボ光を照射し、ドレイン電流の変化をアンプ基板を介してオシロスコープで電圧波高として測定する。

(9) 新しいデバイス製作

ソース/ドレインチャンネル間隔(L)5 $\mu$ m、ソース/ドレインチャンネル幅(W)を5 $\mu$ m, 10 $\mu$ m, 50 $\mu$ m, 100 $\mu$ m, 200 $\mu$ mパターンで大きさ25mm X 50mmのガラス。図6に示す。

図6 デザインパターン図



#### 4. 研究成果

(1) 安定したトランジスタ特性測定プロット

(2) 物理的特性

(3) Vgs-id 測定でドレイン電圧が 20V/-15V/ 10V/ 5Vでのプロット結果。

図7 トランジスタ特性測定例

(横軸;ゲート電圧、縦軸;ドレイン電流)

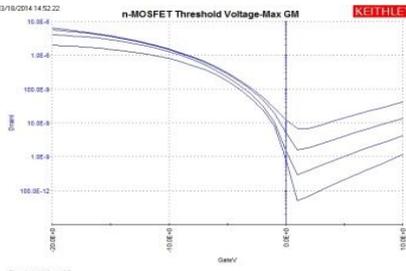
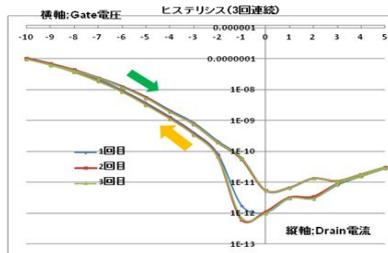


図8 ヒステリシス曲線

(横軸;ゲート電圧、縦軸;ドレイン電流)



ゲート電圧が負の領域では、電圧の絶対値が小さくなるとドレイン電流も小さくなることは、本来のトランジスタ特性であり、プロットを図7に示す。

デバイスはデシュケーターに入れて置き、測定する都度取り出して測定する。

デバイスは湿度変化の影響を受ける。

Vgs-id 測定で、デバイスを外気等に安定させるため、デバイス取り出してから6分後に測定すると、ドレイン電流が1桁下がる。

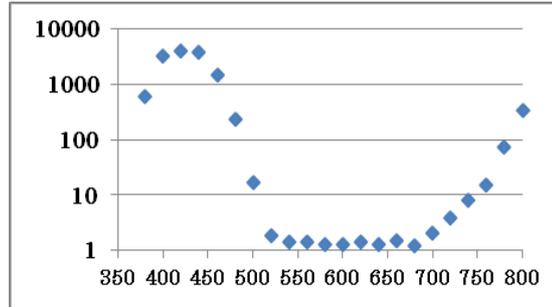
Vgs-id 測定で、ゲート電圧を +V から -V に変化させてのドレイン電流と、ゲート電圧を -V から +V に変化させてのドレイン電流ではヒステリシスがある。

3 回繰り返したヒステリシス曲線を図8に示す。

(4) 光波長依存性の測定

図9 波長に対してドレイン電流増幅度

(横軸;波長、縦軸;ドレイン電流増幅度)



波長400nmから500nmでドレイン増幅度が大きい。増幅度を図9に示す。

波長700nmから800nmでドレイン増幅度が大きくなっているのは、分光器が波長700nmから波長450nmが出るのが原因である。

照射光量に比例してドレイン増幅度も大きくなる。

(5) 光収集効率を上げる。

ドレイン/ソースチャンネル間隔(L)、ドレイン/ソースチャンネル幅(W)の最適値を求める。図10 Vds-id 測定; L=5, L=20, L=50, L=100での比較(横軸;ドレイン電圧、縦軸;ドレイン電流) 色違いはドレイン/ソースチャンネル間隔(L)を示す

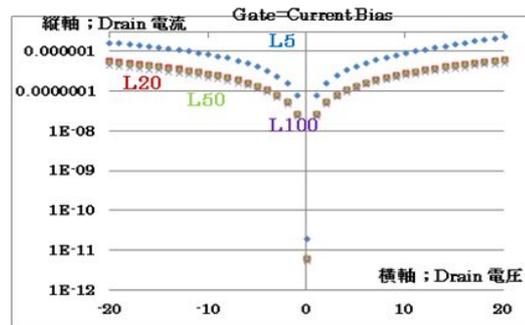
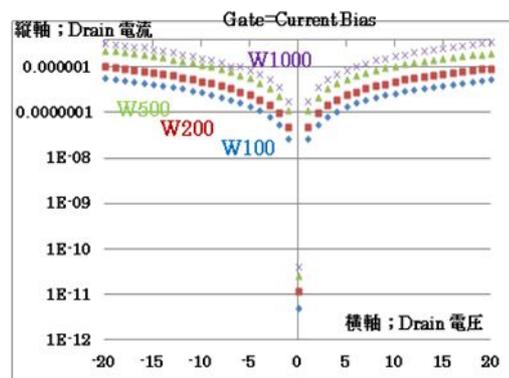


図11 Vds-id 測定; W=100, W200, W500, W1000での比較(横軸;ドレイン電圧、縦軸;ドレイン電流) 色違いはドレイン/ソースチャンネル幅(W)を示す



ドレイン/ソースチャンネル間隔(L)100 $\mu$ m、ドレイン/ソースチャンネル幅(W)100 $\mu$ mでドレイン電流が少ない。図10、図11に示す。

(6) ゲートの漏れ電流

図12 ゲート帯とドレイン電流  
(横軸;ドレイン電圧、縦軸;ドレイン電流)  
色違いはゲート帯なし、ありを示す

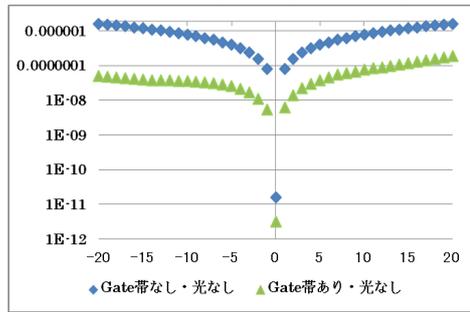
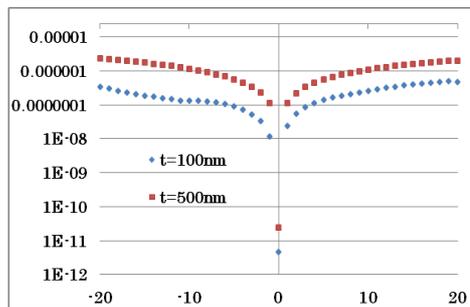


図13 DNNT 膜厚とドレイン電流  
(横軸;ドレイン電圧、縦軸;ドレイン電流)  
色違いは膜厚違いを示す



ゲート帯なしでドレイン電流が多い。光ありでのドレイン電流が僅かに大きい。図12に示す。

ゲート帯ありでドレインに流れるはずの電流がゲート帯(漏れ電流)に流れている。有機半導体(DNNT)の厚み500nmでドレイン電流が大きい。図13に示す。

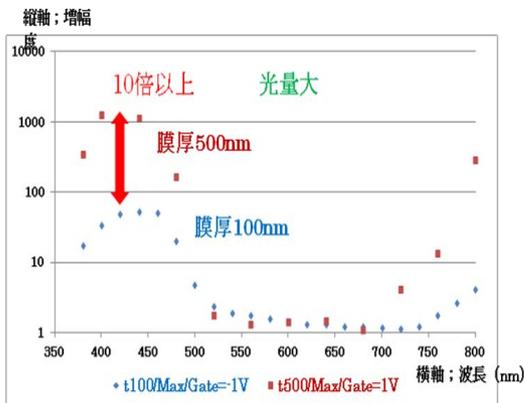
有機半導体(DNNT)の膜厚が薄いと、ドレインに流れるはずの電流がゲート帯(漏れ電流)に流れている。

ゲート帯なしでドレイン電流が多い。光ありでのドレイン電流が僅かに大きい。

ゲート帯ありでドレインに流れるはずの電流がゲート帯(漏れ電流)に流れている。

(7) 増幅度と波長依存性の関係  
図14 有機半導体(DNNT)膜厚と照射波長でのドレイン電流増幅度

(横軸;波長、縦軸;ドレイン電流増幅度)  
色違いは膜厚違いを示す

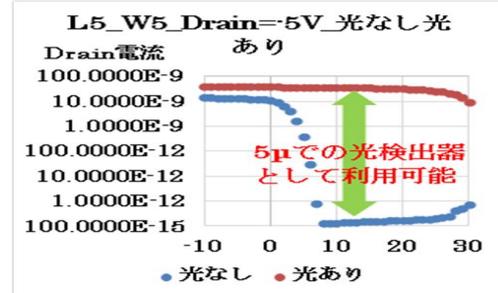


有機半導体(DNNT)の厚み500nmでドレイン電流増幅度が100nmより10倍以上大きい。図14に示す

波長450nm近辺照射でドレイン電流増幅度が最大となる。

(8) 可視光線での利用

図15 光照射・光遮断時でのドレイン電流  
(横軸;ゲート電圧、縦軸;ドレイン電流)  
色違いは光照射なし、ありを示す



ドレイン/ソースチャンネル間隔(L)5μmでの可視光線の検出器として利用可能。ドレイン電流の変化を図15に示す。

(9) 有機半導体(DNNT)のドレイン電流の変化を電圧にする(I-V)

(10) 照射波長と有機半導体(DNNT)のドレイン電流の変化を電圧にする(I-V)

図16 波長450nmフィルタでの光照射セットアップ図

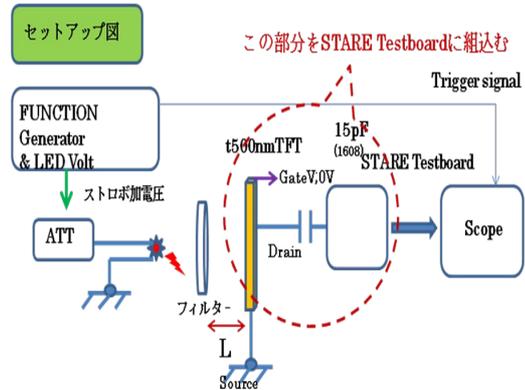
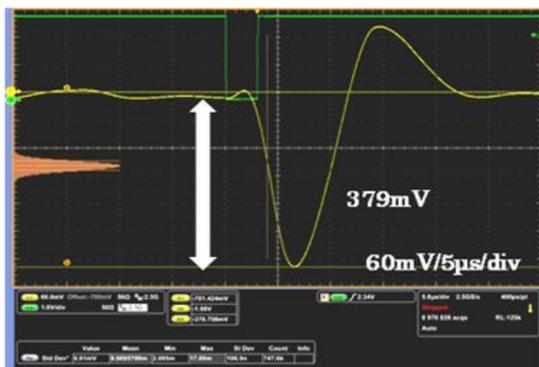


図17 セットアップ写真と波長フィルタ写真



図 18 波長 450nm フィルタ でのスコープ



照射波長依存性の測定結果(図 9) から、最大増幅度を示した波長 450nm フィルタ-と 400nm, 600nm, 700nm フィルタ と交換すると、波長 450nm でオシロスコープ波高値(図 18) が僅かに大きくなる。

#### ( 1 1 ) 研究成果のまとめ・謝辞

有機半導体薄膜トランジスタでトランジスタ特性が確認出来た。

物理的な特性がわかった。

ゲートの漏れ電流の流れ。

可視光線の検出器として利用可能

光量強弱の検出として利用可能

光波長依存性があるが、今回の結果では結論を出せない。単波長での再測定が必要である。

ストロボ光源で電流量を電圧に置き換えて、オシロスコープでパルス波形(動特性)を観測出来た。

最先端のフレキシブル有機薄膜トランジスタ (OTFT;Organic Thin-Film Transistor) を使用しての大面积高精細光検出増幅素子を実現するための、基礎研究が出来た。

波長依存性測定で波長 450nm 近辺でドレイン電流増幅度が大きいことがわかっていたので、波長 450nm フィルターと波長 600nm フィルターでのオシロスコープ波形で波高値の比較をし、波長 450nm での波高値が 400 倍あることが確認できた。この波高値の変化から、波長分別器(色分別器)としての利用と、光あり・なしでの微細光検出器(ソース/ドレインチャネル間隔(L)5µm)としての利用が可能となった。

測定・研究結果を学会等のコミュニティで報告する機会を逃したので、今後この機会があれば研究結果報告したい。

#### 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 0 件)

[学会発表](計 0 件)

出願状況(計 0 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 0 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

#### 6 . 研究組織

##### (1)研究代表者

村上 武 (MURAKAMI, Takeshi)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・加速器科学支援センター・シニアフェロー

研究者番号 : 40391742

##### (2)研究分担者

熊木 大介 (KUMAKI, Daisuke)

山形大学・理工学研究科・准教授

研究者番号 : 80597146