

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 5 日現在

機関番号：82118

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26610075

研究課題名(和文)大型低物質質量ピクセル検出器実用化に向けた有機半導体検出素子の研究

研究課題名(英文)Study on organic semiconductor detector for practical application of large low-mass pixel detector

研究代表者

齊藤 正俊(Saito, Masatoshi)

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：30391783

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：大面積・湾曲可能な放射線検出器をめざして、有機TFT製作技術を基に、新しい構造の検出器開発に取り組んだ。試作した素子の放射線検出器としての性能確認のために量子ビーム照射試験を行った。初めはS/N比が悪く、信号がノイズと判別できなかった。改善のため、素子基板を小型化してアンプの間近に設置できるようにし、プリアンプ基板も改良した。その結果、重粒子イオンの信号は検出できたが、電荷収集効率はまだ不十分で、線による信号をオシロで観測するまでに至らなかった。試作品の電荷収集効率改善の目安とするため、大きな検出器信号が得られる青色LED光を使ってみた。素子への印加電圧等の実験条件の最適化にも有効だった。

研究成果の概要(英文)：We aimed at large-area, bendable radiation detectors and worked on the development of a new structure detector applying organic TFT manufacturing technology. We conducted a quantum beam irradiation test to confirm the performance of the prototype element as a radiation detector. Initially, the S / N ratio was not good, and we could not distinguish between signal and noise. We have reduced the element size so that it can be installed close to the preamplifier, and also improved the preamplifier board. Although the signal of the heavy particle ion could be detected, the charge collection efficiency was still insufficient and it was not possible to observe the signal by ray. In order to compare the charge collection efficiency of the device, we tried using blue LED light which can obtain a large detector signal. Signals were observed, and experimental conditions such as applied voltage to the device could be optimized.

研究分野：放射線計測回路

キーワード：有機半導体 放射線検出器

1. 研究開始当初の背景

有機半導体は、フレキシブル・大面積かつ低コスト化の利点を持ち、次世代電子デバイス材料として有望視されている。既に研究されている有機半導体を使用した放射線検出器は、太陽電池の製作方法をまねた pn 接合ダイオードがあるが、その構造及び製作方法が持つ特徴から、高速応答と高検出効率の実用的な性能を得るのはむずかしい。この問題点を解決するため、新しい構造の検出素子を提案する。

2. 研究の目的

有機薄膜トランジスタの積層構造を新しい放射線検出器構造として提案し、研究開発することにより、単一の粒子線・放射線有機半導体検出素子構成方法を確立する。検出素子の効率を向上させる事により、次世代の低物質質量・フレキシブル・大面積・高精度・低コスト・高感度ピクセル検出器の実用化の礎とする。

3. 研究の方法

電子-正孔対(励起子)生成から自由電荷生成までの過程を効率よく行うため、有機薄膜トランジスタ(有機 TFT) 製作技術により、有機半導体膜厚の異なる新しい構造の検出素子を製作し、膜厚とその構成方法と検出効率の関係を定量化する。まず、有機半導体素子の基礎特性測定の後、放射線検出器試験手法を確立する。検出器としての性能をα線や粒子線を用いて評価しながら、素子の改良を重ねていく。

4. 研究成果

(1)有機 TFT の製作 (素子-1)

ドレイン-ソース間隔 $L(=5, 20, 50, 100 \mu m)$ × 幅 $W(=100, 200, 500, 1000 \mu m)$ の計 16 種類のトランジスタを 80mm 角のガラス板上に 4 面、そこから引き出した測定用パッドを外周に配置した。同じパターンで、膜厚 100nm と 500nm のものを製作した。Vgs-Id 特性を計測器(Keithley 4200-SCS)で測定し、トランジスタ特性を示すことを確認した。これにより、オフリーク電流はWに比例し、Lには依存せず、Vgs には依存することがわかった。膜厚の厚い方が、リーク電流が少なかった。

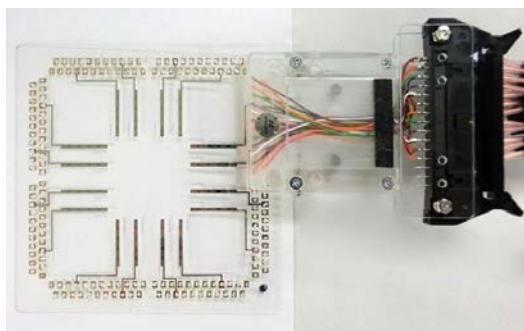


図1 有機 TFT 基板(素子-1)

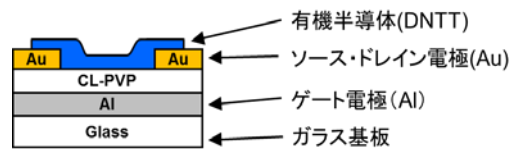


図2 デバイス構造 (素子-1)

(2)検出器としての評価 (素子-1)

Am-241 線源によるα線照射と、日本原子力研究開発機構・高崎量子応用研究所のイオン照射研究施設(TIARA)での重粒子線照射試験を行った。この段階では、検出器信号として識別できるくらい大きな信号が得られなかった。試作素子の検出感度が予想よりかなり小さく、S/N比も不十分だった。

(3)有機 TFT の製作 (素子-2)

厚さ 500nm の素子を、50×25mm のガラス板に、 $L=5 \mu m, W=5, 10, 50, 100, 200 \mu m$ の 5 種類並べた。検出器信号が小さいので、浮遊容量を減らすため、信号ケーブルの代わりに L 型コネクタを使い、できるだけ読み出し回路との接続距離を縮めた。

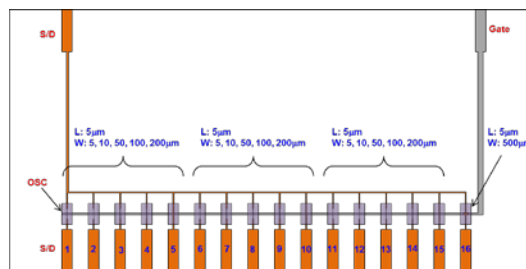


図3 有機 TFT 基板(素子-2)

(4)検出器としての評価 (素子-2)

α線源による MCA 波高測定では、バックグラウンドよりわずかにカウント数の増加が認められたが、オシロでは信号とノイズを判別できなかった。TIARA での重粒子線照射試験では、ビーム起因の有機デバイスからの信号をとらえ、原理の実証はできた(図4)。しかしながら、有感部の厚さが薄いために入射粒子のエネルギー損失が小さく、信号波高が不十分で、半導体特性を詳細に評価することが困難であった。現在、膜厚を増加させるための作業を進めている。

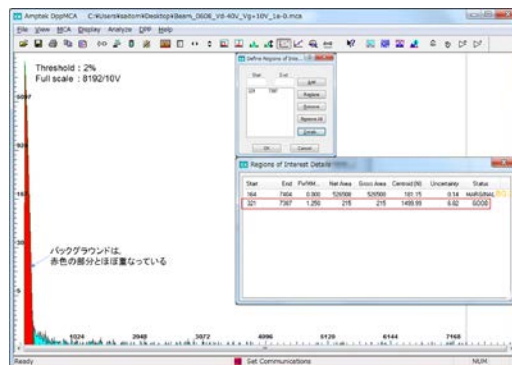


図4 TIARA ビーム試験結果

(5)読み出し回路

チャージアンプ IC は KEK で開発されたものを使用した (図 5)。IC 単独では十分低ノイズであるが、S/Nをさらに高める必要があり、最初のビーム照射試験後、アンプ基板を改良した。基板レイアウトを変更して外部ノイズを受けにくくするとともに、配線容量をできるだけ少なくするために、有機デバイスとの配線長ができるだけ短くなるような配置にした。IC 実装では、チップを基板上でワイヤーボンディング接続する方式にした。その結果、ノイズをかなり減らすことができた。



図 5 チャージアンプ

(6)青色 LED の利用

α 線検出には有機半導体膜厚が不十分で、入射粒子によるエネルギー損失が小さいため検出信号の波高が低く、信号とノイズをしっかりと判別できないという問題点は解消されていない。そこで、 α 線より大きな信号が得られる青色 LED 光で、素子間の電荷収集効率の差を見ることにした。LED の光度は、パルス幅変調方式で与えた LED 印加電圧で調整した。

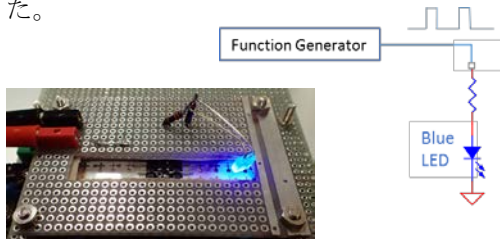


図 6 青色 LED 照射試験

可視光と粒子線では、素子内で励起子が生成されるプロセスは異なるが、集電極へ自由電荷が移動し読み出される過程は共通なので、 α 線より強い粒子が入射したときのシミュレーションになる。

比較対象として、 α 線検出に対応した Si PIN フォトダイオード (PD) を用意した。まず、PD で α 線による信号を確認し、読み出し回路の性能が十分であることを確認した。次に、青色 LED 光による PD の信号を観察し、同じ位の信号波高が得られる LED 印加電圧を各素子間で比較した。素子-2 (500 μ m 厚の有機 TFT) の LED 電圧 3V に対して、素子-3 (P-N 各 75 μ m 厚の有機ダイオード) が 0.3V、PD が 0.1V であっ

た。これにより、試作 TFT は PD より検出効率はかなり小さいことがはっきりした。有機 TFT の電荷収集効率は、もっと改善する必要がある。

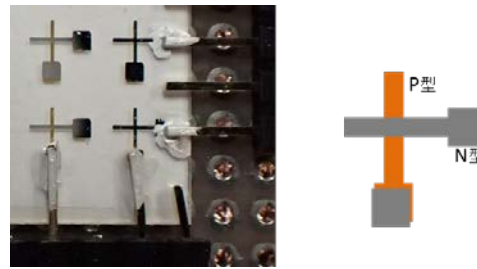


図 7 有機ダイオード (素子-3)

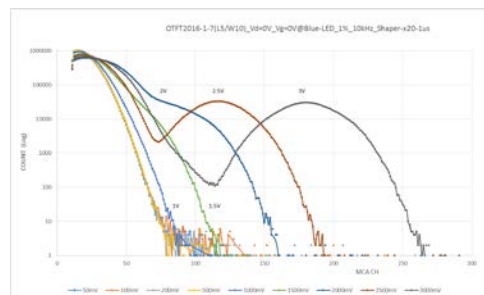


図 8 波高の LED 電圧による変化 (素子-1)

図 9, 10 から、ゲートに電圧をかけると、リーク電流が減り、Vds を上げると、信号波高が大きくなるのがわかる。

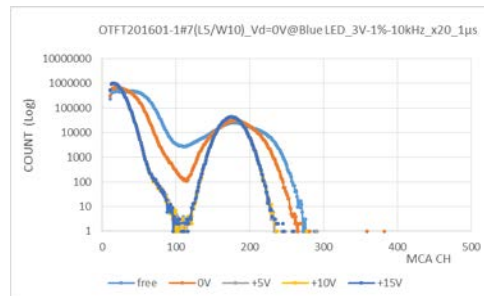


図 9 有機 TFT の Vgs 依存性 (素子-1)

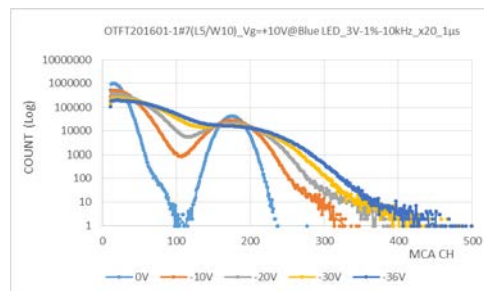


図 10 有機 TFT の Vds 依存性 (素子-1)

青色 LED 照射試験は、読み出し回路のチェックと、素子への印加電圧等の実験条件の最適化にも役立った。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 0 件)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○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

齊藤 正俊 (SAITO, Masatoshi)

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 : 30391783

(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