

有機ヘテロ接合を用いた負性抵抗素子の開発

小橋, 和義

<https://doi.org/10.15017/1931869>

出版情報 : 九州大学, 2017, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

氏 名 : 小橋 和義

論 文 名 : 有機ヘテロ接合を用いた負性抵抗素子の開発

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

近年、あらゆるモノがインターネットに接続されるという **Internet of Things (IoT)** が産業と社会に大きなイノベーションをもたらす技術として注目されている。IoT では様々な形状を有するモノであっても設置が容易なフレキシブルデバイスがキーデバイスとなる。このような背景から、柔軟性・軽量性・低コストという特徴を有する有機トランジスタへの関心が高まっている。しかし、現状の技術では素子の微細化・集積化が困難であるため、有機トランジスタを用いた集積回路の情報処理能力が低いという問題がある。

本研究では有機集積回路の情報処理能力を向上させるために多値論理回路に着目した。多値論理回路とは3つ以上の論理値を取り扱う論理回路である。多値論理回路を用いることにより信号線1本あたりの情報量が増加するため、素子の微細化・集積化に頼らずに有機集積回路の情報処理能力を向上させることができる。

多値論理回路を実現する素子に負性抵抗素子がある。負性抵抗素子では電圧を大きくするほど逆に電流が減少する。この非線形電流特性を利用することにより多値論理回路は構築される。負性抵抗素子の性能の指標となるのがピーク電流とバレー電流の比、ピーク・バレー比 (**peak-to-valley ratio: PVR**) である。実用的な回路応用には、室温で 10^4 程度の PVR が必要となる。しかし、エサキダイオードや共鳴トンネルダイオードなどの従来の負性抵抗素子は、界面での欠陥や熱拡散電流の影響により室温での PVR が低い (30 以下) という問題がある。

現在、格子整合の制約を離れて異なる材料を自由に組み合わせる積層できる、遷移金属ダイカルコゲナイドを用いた新奇デバイス開発が盛んに行われている。その1つにアンチアンバイポーラトランジスタがある。この素子のトランジスタチャンネルは p 型と n 型の2つの半導体チャンネルにより構成されており、チャンネル中央に部分的に積層されたヘテロ接合を有する。この素子は特定のゲート電圧の範囲内でドレイン電流が増減するという、負性抵抗と類似した非線形電流特性を有している。さらにこれまで問題になっていた PVR において 10^4 を超える高い値を実現できることから、負性抵抗素子としての応用が期待できる。しかし、材料固有の特性により回路応用に必要な、ピーク位置やピーク幅などの素子特性の制御に課題がある。

そこで私たちの研究では、これまで用いられてきた無機半導体ではなく、有機半導体を適用する。無機半導体とは異なる有機半導体独自のキャリア注入機構や、分子設計によりエネルギー準位が調

整できることを利用すれば、素子特性の自在制御が期待できる。以上のことから、本研究では有機半導体を用いた新たな負性抵抗素子を開発し、そのキャリア輸送特性の詳細な解析を行った。

本論文は、6章から構成される。第1章では、本論文の序論として本研究の背景および目的について述べる。

第2章では、負性抵抗素子に用いる有機薄膜の成長条件の最適化について述べる。有機薄膜は真空蒸着法を用いて形成する。一般に有機デバイスの性能は分子の配向に大きく依存する。提案する素子では、キャリアが基板平行方向に流れることを想定しているため、エッジオン配向した有機薄膜を形成する必要がある。真空蒸着法を用いて有機薄膜を形成する場合、分子の配向は真空蒸着時の基板温度に大きく支配される。そこで本章では、基板温度を変えて成長させた有機薄膜を原子間力顕微鏡やX線回折法などを用いて評価することにより、有機薄膜の成長条件の最適化を行う。

第3章では、第2章で最適化した条件のもと作製した、有機半導体を用いた負性抵抗素子について述べる。一般に有機半導体は真性半導体であり、かつバンドギャップが2~3 eVと大きいため、膜中にキャリアがほとんど存在しない。そのため、有機半導体を用いて作製した素子ではドレイン電圧を掛けるだけでは電流は流れない。この特徴により印加したドレイン電圧がゲート電圧に従って各有機半導体に分配され、CMOS回路における貫通電流と類似した機構に基づいて動作する。

第4章では、有機ヘテロ接合を用いた負性抵抗素子におけるキャリア輸送経路について述べる。この素子はマスクを用いた真空蒸着により作製しているため、積層界面積や有機半導体層の膜厚といった幾何学的形状を容易に変えることができる。そこで、本章ではこれら幾何学的形状を変えたときのキャリア輸送特性を評価することにより、キャリア輸送経路を明らかにする。

第5章では、界面制御を利用した素子特性の制御について述べる。有機集積回路の情報処理能力を向上させる技術に多値論理回路があるが、作製した素子を用いてこの回路を実現するには負性抵抗のピーク位置などを低減し、素子を低電圧で動作させなければならない。作製した素子では各半導体チャンネルのしきい値電圧が素子特性の制御に重要な役割を果たす。有機半導体を用いたトランジスタでは、電極/有機半導体界面に電荷注入層を挿入することにより、しきい値電圧を調整できることがこれまでに明らかとなっている。そこで、電荷注入層を用いて各半導体チャンネルのしきい値電圧を調整することによりピーク位置の低減を行う。また、静電容量が高く半導体/絶縁膜界面に多数のキャリアを蓄積できる高誘電率 Al_2O_3 絶縁膜を用いることにより、さらなるピーク位置の低減を試みる。

第6章では、本研究結果から得られた知見をまとめ、総括とする。