

C₆₀ 及び C₇₀ フラーレン薄膜素子の抵抗変化効果



SATテクノロジー・ショーケース2026

■はじめに

近年、チャンネルをゲートが全周から制御するGate All Around(GAA) FETをはじめとする、電子素子の微細化が追求されており、新たなナノ材料を利用したさらなる微細素子について多くの研究がなされている。

ナノ材料の一つにC₆₀フラーレン(C₆₀)がある。直径が約1 nmの炭素原子が60個で構成される球体分子で、ユニークな電子特性を持つことが知られており、C₆₀に官能基をつけたC₆₀誘導体のC₆₀ Pyrrolidine Tris Acid (CPTA)を用いた薄膜の抵抗変化素子が報告されている^[1-2]。しかし、フラーレンは炭素原子の構成数によって形状が変わる材料であるが、そこに着目した研究は少ない。先行研究のフラーレンを用いた抵抗変化素子においても、C₆₀の特性しか明らかになっていない。そこで、炭素が70個で構成される楕円体で直径が約1.2 nmのC₇₀フラーレン(C₇₀)に注目した。C₇₀とC₆₀では、フロンティア軌道が異なることが報告されている^[3]。C₇₀の方が、最高被占軌道と最低空軌道とのエネルギー差が狭い。したがって、C₆₀よりも電子移動が向上することが見込め、C₇₀も抵抗変化素子として機能することが考えられる。

本研究ではC₆₀及びC₇₀フラーレンを用いた薄膜素子をそれぞれ作製し、構造差による抵抗変化効果の影響を検証した。また、先行研究のCPTAと同じC₇₀誘導体はない。同一官能基を持つフラーレンで比較できるよう、C₆₀誘導体として図1(a)に示すPhenyl-C₆₁-Butyric acid Methyl ester (PC₆₁BM)、C₇₀誘導体として図1(b)に示すPhenyl-C₇₁-Butyric acid Methyl ester (PC₇₁BM)を使用し、電気特性の比較を行う。

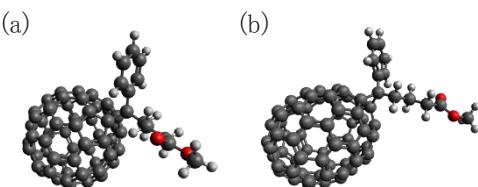


図 1 フラーレン誘導体の概略図

(a) PC₆₁BM, (b) PC₇₁BM

■活動内容

1. フラーレン薄膜抵抗変化素子作製

熱酸化層を備えたシリコン基板に原子層堆積法によりアルミナを2 nm成膜した。この基板を電子ビームリソグラフィでパターン形成した。抵抗加熱蒸着を用いて、金とパラ

ジウムを8対2で混合し、幅25 nm長さ100 nmのナワイヤー形状を形成した。その後、エレクトロマイグレーション法を用いて、ナワイヤーの中央部に間隔20 nm程度のナギヤップを形成した。その後、スピンドルコート法を用いてPC₆₁BMを塗布し、ナギヤップ間のPC₆₁BMに電流を流すことでフラーレンチャネルを形成した。また、別の素子でPC₇₁BMを塗布したものも作製した。それぞれの素子を真空チャンバー内で電気制御により、低抵抗状態(LRS)と高抵抗状態(HRS)の抵抗スイッチを測定した。

2. 結果と考察

図2(a)にC₆₀のスイッチング結果を示す。LRS平均値が185 kΩ、HRS平均値が1.99 GΩであった。異なる誘導体においてもHRS/LRS比は10倍以上のスイッチングを維持できることが明らかとなった。次に図2(b)にC₇₀のスイッチング結果を示す。LRS平均値が326 kΩ、HRS平均値が0.791 GΩであった。C₆₀と同じようにスイッチングしており、C₇₀も抵抗変化素子として機能している。

また、HRSに遷移させるとときの電流-電圧特性の傾きから常用対数でとり、理論式から伝導解析を行う。空間電荷制限電流(SCLC)に基づく伝導領域において異なる伝導を示した。

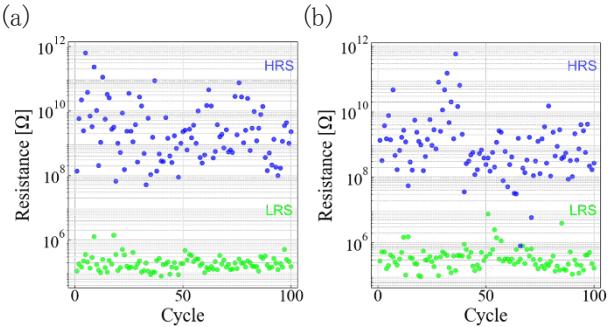


図 2 スイッチング結果

(a) PC₆₁BM, (b) PC₇₁BM

■関連情報等(特許関係、施設)

参考文献

- [1] M. Takei et al., ACS Appl. Electron. Mater. 5, 3184 (2023).
- [2] T. Hirama, et al., ACS Appl. Electron. Mater. 6, 3403 (2024).
- [3] S. Arabnejad, Front. Energy Res. 7, 3 (2019).

■キーワード: (1) 抵抗変化メモリ
(2) フラーレン誘導体
(3) PC₇₁BM

■共同研究者

菅 洋志(千葉工業大学)

塙越 一仁(国立研究開発法人物質・材料研究機構)