

ポリマーラッピング法を用いた半導体型 単層カーボンナノチューブの直径選択分離

SATテクノロジー・ショーケース2025

■ はじめに

単層カーボンナノチューブ(SWCNT)には、構造により異なる電気的性質(金属型・半導体型)をもった2種類が存在し、それらが混合して合成されるという大きな問題があった。近年の分離技術の進展により、現在では密度勾配遠心分離法、電界誘起層形成法、ゲル分離法、ポリマーラッピング法など様々な手法によって、金属型・半導体型のSWCNTの分離精製が可能となっている。これらの分離法の中で、ポリマーラッピング法は、高純度の半導体型のSWCNT(s-SWCNT)を分離するのに有効な技術である。

ポリマーラッピング法に用いられる代表的なポリマーとして、ポリフルオレン(PFO:poly(9,9-dioctylfluorenyl-2,7-diyl)) (図1(a))がある。PFOを用いることにより、高純度のs-SWCNTを分離できることが報告されている¹⁾。しかしながら、PFOを用いた場合、1.1 nm以下の直径の小さいs-SWCNTしか分離できない。直径の小さいs-SWCNTは、電極との間にショットキー障壁を生じるため、デバイス応用の際に性能が低下する原因となるといった問題がある。これまで、デバイス応用に適した大径(>1.2 nm)のs-SWCNTを分離可能なポリフルオレン系ポリマーの研究が行われている²⁾。しかしながら、大径のs-SWCNTを分離可能なポリマーは、数が少ないのが現状である。そこで本研究では、大径のs-SWCNT分離にこれまで用いられたことのないフルオレン系ポリマーであるPFO=A (poly[(9,9-dioctyl-2,7-divinylene fluorenylene)-alt-co-(9,10-anthracene)]) (図1(b))により、s-SWCNTの分離を試みた。

SWCNTには、CVD法の一種であるeDIPS法³⁾により合成されたものを用いた。eDIPS法は、高結晶・高純度・高収率かつ低コストでSWCNTを製造可能な手法である。

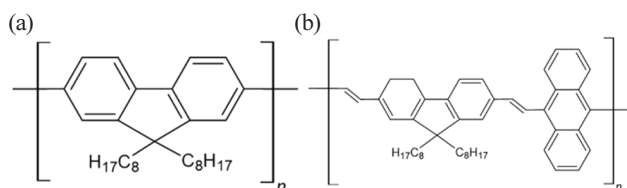


図1 ポリマーの構造式 (a) PFO, (b) PFO=A

■ 活動内容

本実験では、以下の手順でポリマーラッピング分離を行った。まず、eDIPS法で合成した平均直径1.3 nmのSWCNTとPFOあるいはPFO=Aをトルエン溶媒中に加えた

後、超音波ホモジナイザーにより分散した。遠心分離後、上澄みを回収した。回収した上澄み液の光吸収スペクトルを測定した。

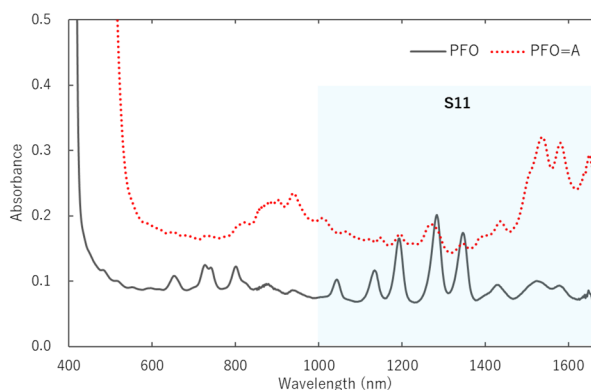


図2 PFOおよびPFO=Aを用いて分離したs-SWCNT分散液の光吸収スペクトル

PFOおよびPFO=Aを用いて分離した際の光吸収スペクトルを図2に示す。波長が1000 nm以上の領域において、s-SWCNTの光学遷移S₁₁に対応するピークが見られた。そのピーク位置は直径に依存し、直径が大きいほど高波長側に観測される。2つのスペクトルを比較すると、S₁₁ピークの位置が異なり、PFO=Aを用いて分離した場合の方が、高波長側にS₁₁ピークが観測された。従って、PFO=Aを用いた方が、より大径(>1.2 nm)のs-SWCNTを含む分散液を得られることが新たにわかった。本結果はデバイス応用につながる第一歩であると考えられる。

■ 今後の展開

現在、得られたs-SWCNTの蛍光分光測定に着手している。その結果を解析し、構造(カイラリティ)の評価を行う。また、分離メカニズム解明の指針を得るため、PFOおよびPFO=Aとs-SWCNTの相互作用を分子動力学シミュレーションにより調べる。

■ 参考文献

- 1) J. Wang, et al., Nanoscale, (2022), 14, 1096-1106
- 2) Y. Li, et al., Adv. Funct. Mater., (2021), 32, 2107119
- 3) T. Saito, et al., Journal of Nanoscience and Nanotechnology, (2008), 8, 6153-6157

■キーワード: (1) 単層カーボンナノチューブ
(2) ポリマーラッピング分離
(3) 半導体

■共同研究者: 藤井俊治郎(兵庫県立大学)
栗原有紀(産業技術総合研究所)
斎藤毅(産業技術総合研究所)

代表発表者 種平 立輝(たねひら りつき)
所属 兵庫県立大学大学院 工学研究科
産業技術総合研究所ナノ材料研究部門
問合せ先 〒671-2280 兵庫県姫路市書写 2167
E-mail: anriutmpacjoiermo123@gmail.com