

分子によるトンネル電流制御 II: 自己組織化単分子膜の分子振動解析

Control of tunnel currents by organic molecules II:

Analysis of molecular vibrations in self-assembled monolayers

物材機構¹ ○山本 真人¹, 早川 竜馬¹, 若山 裕¹NIMS¹, [○]Makoto Yamamoto¹, Ryoma Hayakawa¹, Yutaka Wakayama¹

E-mail: YAMAMOTO.Makoto@nims.go.jp

[背景]

自己組織化単分子膜(SAM)を利用した分子素子の提案は古くからある。しかしながら、実用的なデバイス構造の中でその有用性が示されていないため、未だ2端子構造での電気伝導評価に留まっている。

我々は、これまで原子層堆積法(ALD)を用いて極薄 Al₂O₃ 膜を低温プロセスで形成することにより分子を壊す事無くトンネル接合を形成する手法を確立してきた^[1]。また、Al₂O₃ 膜が保護層として働くためリソグラフィによる微細加工が可能になる。CMOS プロセスに適合した縦型トランジスタを作製し、デバイス動作に成功している。この技術を応用できれば、単なる SAM を用いた2端子測定ではなく、縦型分子トランジスタへ拡張できる。今回は、その前段階として SAM を用いた分子接合を形成できるか検証した。8-mercapto-1-octanol(8MO)を用いた分子接合 (Au/Al₂O₃/SAM/Au 構造) を作製し、トンネル電流評価を行ったので報告する。

[実験]

電極はクロスバー構造を用いた[Fig. (a)]。下部 Au 電極(線幅: 0.3~0.1 mm、膜厚: 20 nm、RMS: 0.4 nm)を真空加熱蒸着した SiO₂ 基板を、1 mM の 8-mercapto-1-octanol(8MO)溶液に24時間浸漬した。その後、ALD 装置に移送し、トリメチルアルミニウム(10 cc、5 sec)と水蒸気(5 cc、5 sec)を交互に45回導入することで、Al₂O₃ 薄膜を8MO上に成膜した。最後に、上部 Au 電極(線幅: 0.3~0.1 mm、膜厚: 100 nm)を蒸着し、分子接合を形成した。測定は低温真空プローバーを用い、真空度~7×10⁻⁶ Pa、試料温度 20 K において行った。

[結果・考察]

Figure (b)に作製した素子の電流-電圧(*I-V*)特性と数値微分によって算出した非弾性トンネル分光(IETS)スペクトル $[(d^2I/dV^2)/(dI/dV) - V]$ を示す。IETS スペクトルにおいて $V = 0.17, 0.36, 0.46$ V に分子振動に関するピークが観測された。8MOに含まれる振動モードは、はさみ振動 $[\delta(\text{OH}) \approx 0.17 \sim 0.18$ eV]、および伸縮振動 $[\nu(\text{CH}) \approx 0.36 \sim 0.37$ eV、 $\nu(\text{OH}) \approx 0.43 \sim 0.46$ eV]であることが報告されている^[2]。算出された IETS スペクトルは複数のピークを持つが、①~③に示した振動ピークは8MOの振動モードと非常によく一致する。この結果から8MO-SAMを流れるトンネル電流を観測できたと考えている。今回の検討を通して、極薄 Al₂O₃ 膜を挿入することにより分子接合を形成できることが分かった。今後、本手法を用いて磁性分子などの機能性 SAM を用いた分子接合へ拡張していく。合わせて SAM をチャネル層に用いた縦型分子トランジスタへ展開し、高集積化可能な分子素子の実現を目指す。

[参考文献]

[1] R. Hayakawa, et al, *Adv. Funct. Mater.* **21**(2011). [2] M. J. Preiner, et al., *Appl. Phys. Lett.*, **92**(2008)

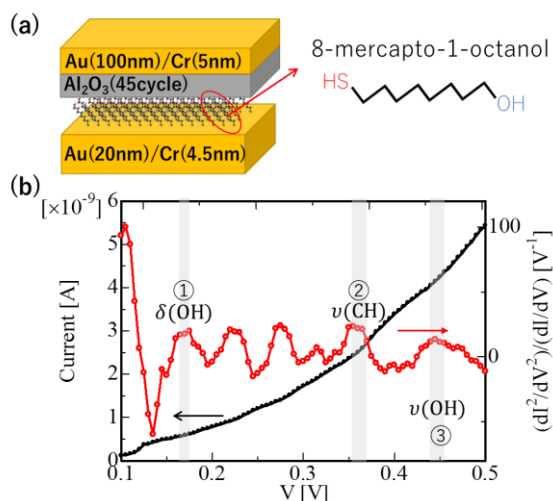


Figure (a) 8MO を挿入したクロスバー構造。
(b) *I-V* 特性および IETS スペクトル。