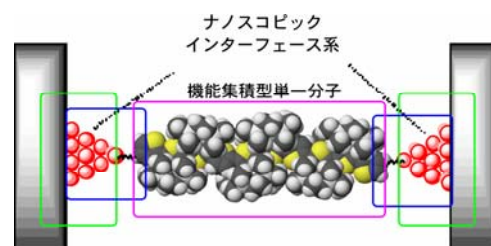


ディビジョン番号	14
ディビジョン名	ナノテク・材料化学

大項目	3. ナノ計測・分析
中項目	3-1. 計測
小項目	3-1-4. 単分子の電気伝導度計測

#### 概要（200字以内）

さまざまな方法で単一分子の電気特性の計測が試みられている。ひとつは、ナノメートルサイズのギャップ電極を作製して分子を架橋して計測する方法であり、もうひとつは、基板上的分子に走査プローブ顕微鏡でアプローチする方法である。分子と電極の接続様式が結果の妥当性、



定量性、再現性に影響を与えることが認識され、数年内に、より安定で構造の規定されたインターフェースの作製技術の確立により、定量的な議論が可能となる。

#### 現状と最前線

##### (1) 研究背景

現在の集積回路の微細化・高密度化の限界を打破するひとつの方向として、機能性分子を集積化して電子デバイスを構築する「分子スケールエレクトロニクス」の確立に期待が寄せられている。1974年に、AviramとRatnerにより分子整流器の概念が導入され、その実証に向けたさまざまな工夫が1980年代に盛んに行われたが、万人を納得させる結果を得ることは難しかった。1990年代のナノテクノロジーの急速な進展により、単一分子を「視て」「操作する」ことが現実のものとなり、ひとつの分子の電気伝導度計測に関する研究が盛んに行われるようになった。被計測分子としては、10 nm から 30 nm の長さを有する単一分子ワイヤーや分子ダイオードが設計、合成されており、電気伝導度計測の正否は、計測方法の緻密さによるところが大きい。

##### (2) 単一分子電気伝導度計測

分子ワイヤーや分子ダイオードの電気特性を計測するための手法は、大きく分けて2つの方法があり、分子の種類やサイズによる使い分けをしている。ひとつは、支持基板表面に、分子サイズの間隙をもつ電極（ナノギャップ電極）を作製して分子を架橋して計測する方法であり、比較的大きな（長い）分子に対して用いられる。もうひとつは、基板上に固定された分子に走査プローブ顕微鏡でアプローチする方法であり、比較的小さな（短い）分子に対して用いられる。

### (3) ナノギャップ電極の作製による単一分子計測

分子サイズのギャップ電極の作製手法としては、電子ビームリソグラフィを用いた方法の他、金属細線に過電流を流して遮断する方法や、シャドウマスクを用いる方法、メッキによる方法などさまざまな方法が提案され、水素分子の伝導度が計測された例もある。右図は、メッキによるナノギャップ電極の作製例である。はじめに、数百 nm のギャップを有する電極を電子ビームリソグラフィーで作製し、電極間の抵抗をモニ

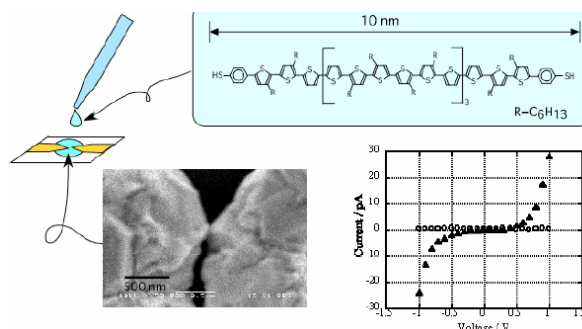


図. メッキによるナノギャップ電極の作製と分子ワイヤーの電流-電圧特性の計測。

ターしながら、電極にメッキを施し、数 nm から数十 nm のギャップが作製する。その間隙に分子ワイヤーを含む溶液を滴下し、洗浄と乾燥を繰り返した後、電流-電圧特性を計測する。分子を架橋すると電流値が増えていることがわかる。こうした手法により、分子の電気伝導度に関する知見を得ることはできるが、一般に、電極の厚みが大きく、架橋している分子の数および架橋構造が不明であり、再現性のある結果を得にくいのが問題である。克服する方法として、多数の計測を行って統計処理を行う方法や、平坦な電極を作製すること、光や電界に対する応答性から分子の架橋を確認する方法が模索されている。

### (4) 走査プローブ顕微鏡 (SPM) を用いた電気伝導度計測

分子を含む溶液内で、SPM 探針を上下させ、確率的に生成する探針-分子-基板の架橋構造の伝導度を計測する方法が提案されている。統計的処理をすることにより、分子の長さやアンカー一部位の構造による電機伝導度の値を定量的に議論することが可能になっている。

いずれの手法においても、分子と電極の接続界面が結果の妥当性、定量性、再現性に影響を与える。これまでは、金電極とチオール基の親和性の良さを利用した Au-S 結合を有する系に関する研究がほとんどであるが、接続が不安定で、再現性を得にくいという問題点があり、より安定なインターフェースの構築が最重要課題である。

### 将来予測と方向性

- ・ 5 年後までに解決・実現が望まれる課題

高さ 1 nm 以下の極薄かつ平坦な金属ナノギャップ電極の作製技術の確立。半導体を用いた電極の作製技術の確立。電極と分子の接続を担うアンカー部位の構造最適化。

- ・ 10 年後までに解決・実現が望まれる課題。

単一分子へのさまざまな機能 (メモリー、スイッチングなど) の導入技術の確立。

### キーワード

分子スケールエレクトロニクス, ナノギャップ電極, 分子ワイヤー, 電気伝導度, インターフェース

(執筆: 埴田博一)