

## 論文審査の結果の要旨

氏名 赤井 智紀

本論文は、分子配線材料として期待されている導電性高分子を筒状の絶縁性分子である分子ナノチューブの中へ包接した「分子被覆導線」の作製と、その構造および物性の研究についてまとめたものである。具体的には、分子被覆導線の原子間力顕微鏡(AFM)観察、分子マニピュレーション、塩酸によるドーピング、ナノレベルの絶縁ギャップと原子レベルの平坦性を有する微細電極の作製法、作製した電極を用いた分子被覆導線の電気物性測定について述べられている。

本論文は4つの章により構成され、各章の概要は以下の通りである。

第1章では、分子配線材料として期待されている導電性高分子の電気伝導機構、分子ナノチューブの合成方法およびその物性、分子被覆導線の研究についてのこれまで知見がまとめられている。また、背景となる知識として、走査型プローブ顕微鏡、特に本研究で用いている原子間力顕微鏡について詳細に説明されている。さらに、分子被覆導線の電気物性測定用の微細電極基板を作製する手法として、導電性AFM探針を用いた陽極酸化法およびAFMリソグラフィ法についてのこれまでの知見が述べられている。

第2章では、具体的な実験手法として、分子被覆導線の作製と物性の測定法についてまとめられている。まず、本研究で用いたポリアニリンの特徴、分子ナノチューブの合成法と、分子被覆導線の作製法についての記述があり、次に分子被覆導線のAFM観察結果、特に様々な基板上で観察を行い、それぞれの基板への分子被覆導線の吸着力について述べられている。また、分子被覆導線の操作を行うために、AFMを用いた分子マニピュレーションについての説明があり、さらに分子被覆導線のドーピング法および光吸収を用いた測定について述べられている。最後に、分子被覆導線の電気物性測定で使用する微細電極基板の作製法が2種類紹介されている。1つは、陽極酸化法を用いた電極作製プロセスであり、もう1つは、AFMリソグラフィを用いた電極作製プロセスである。作製した微細電極は、それぞれカーボンナノチューブの電気物性測定を通して電極の有効性が検証されている。さらに、作製した微細電極を用いた分子被覆導線の電気物性の測定法について述べられている。

第3章では、第2章で行った実験の結果および考察についてまとめられている。AFM観察により分子被覆導線の形成が確認され、さらに分子被覆導線を溶かしている溶媒に対して濡れが良い基板ほど、分子被覆導線の吸着量が多いことがわかった。また、観察される分子の多くは、分子被覆導線が分子ナノチューブを介して数本程度つながったものであることがわかつ

た。次に、分子マニピュレーションにより、分子被覆導線を移動させたり切断したりすることが可能であることが明らかになっている。切断されるとき探針の触圧から、約 30nN 以上の触圧で分子被覆導線が切断された。さらに、分子被覆導線にドーピングを行った結果、被覆していないポリアニリンと同様にドーピングが行えることがわかった。また、ドーピングを行った分子被覆導線は正に帯電するため、負に帯電したマイカ基板への吸着量が上がることも明らかになった。

次に、微細電極の作製結果が述べられている。陽極酸化法を用いた場合、電極間のギャップは 150nm 程度、表面の粗さは 0.5nm 以下であり、分子被覆導線の電気物性測定に十分な微細かつ平坦な電極を作製できている。電極に Ti を用いた場合、カーボンナノチューブの抵抗を測定することができたが、自然酸化膜の影響で再現性のある測定は困難であることがわかった。AFMリソグラフィ法を用いた場合も、電極間のギャップは 150nm 程度、表面の粗さは 0.3nm 以下であり、分子被覆導線の電気物性測定に十分な微細かつ平坦な電極を作製できた。作製した電極を用いてカーボンナノチューブの抵抗を測定したところ、従来の報告と同程度の接触抵抗を含んだ抵抗値が得られた。最後に、AFMリソグラフィで作製した電極を用いた分子被覆導線の電気物性測定について述べられている。分子被覆導線へドーピングを行わない状態や、ドーピングを行った後に真空引きした状態で抵抗測定を行った場合、分子被覆導線に電流は流れなかったが、ヨウ素雰囲気中でドーピングを行いながら抵抗測定を行ったところ、約 47G $\Omega$  の抵抗値が得られた。この導電率は、バルク状態のポリアニリンにヨウ素ドーピングを行ったときの導電率とほぼ同程度である。

第4章では、本論文の結論が述べられており、本研究で明らかとなった分子被覆導線の構造と物性や、電気物性測定に用いた微細電極に関する知見の総括が述べられている。

以上のように本論文で著者は、分子配線材料として期待されている導電性高分子を分子ナノチューブで包接することにより分子被覆導線を作製し、分子被覆導線の構造と物性に関する多くの有意義な知見を得ている。これは、分子エレクトロニクスの実現に必要な不可欠といわれている分子配線の研究の発展のみならず、従来一次元系の電子物性についてなされてきた数多くの理論的予測を実験的に検証することができることが示され、低次元系の物理、化学の分野に大きな進展をもたらすことが予想される。

第2章及び第3章の結果については、阿部巧、下村武史、伊藤耕三、石橋雅義、加藤美登里、平家誠嗣、岡井誠、橋詰富博、崔炳基との共同研究であるが、論文提出者が主体となって実験及び解析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。よって、本論文は博士（科学）の学位論文として合格と認められる。