

チームリーダー 長谷川修司 (東京大学大学院理学系研究科・准教授)

Keyword

マルチプローブ顕微鏡、ナノ電気伝導、カーボンナノチューブ探針

プログラム名 要素技術プログラム

開発課題名 4探針STMの制御系および多機能ナノチューブ探針の開発

■ 参 画 機 関：大阪大学、(株)ユニソク

■ 開 発 期 間：平成16～18年度 (「プロトタイプ実証・実用化プログラム」において(株)ユニソクが引き続き開発実施中)

課題概要

走査トンネル顕微鏡(STM)に4本の探針を組み込み、お互いの位置関係を認識しながら独立に駆動して電気計測を可能とする「4探針STM制御系」、および金属層や誘電体層で被覆して多様な機能をもたせた「被覆型カーボンナノチューブ探針」を開発する。これにより次世代ナノテクノロジーのためのナノスケール電気計測法として「4探針STM法」を確立し、さらに今までにない画期的な「グリーン関数STM法」を実現する。

得られた開発成果の概要

■ 開発の背景／経緯

ナノメートルスケールの構造体の計測のため走査トンネル顕微鏡が用いられるが、1つ探針を有する場合、形状等は計測できるが、その電気伝導特性の直接的な計測は不可能である。このため我々は、4本の探針を備えた走査トンネル顕微鏡(STM)装置を開発し、ナノメートルスケールの構造体の電気伝導特性の計測を可能とする。

■ 開発の成果

1台のコントローラで4本の探針を有機的・統合的に駆動・制御する(図1)。そのために、(1)探針位置を観察する走査電子顕微鏡(SEM)とSTMの統合コントローラ、(2)吸収電流像による各探針位置の自動認識法、(3)複数の測定モード

(STM測定、グリーン関数測定、4探針電気伝導測定)を切り替えられるプリアンプ、などを開発した。また、アスペクト比の高い導電性カーボンナノチューブ(CNT)探針も開発した。導電性および機械的耐久性を確保するため、パルスレーザ蒸着法によって探針全体を金属被覆する技術を開発した(図2)。これにより、探針間隔を20nm程度まで近づけて電気伝導度測定が可能となった。この装置は、ナノメートルスケールのデバイスやナノワイヤ、量子ドット、表面原子層、DNA分子、高分

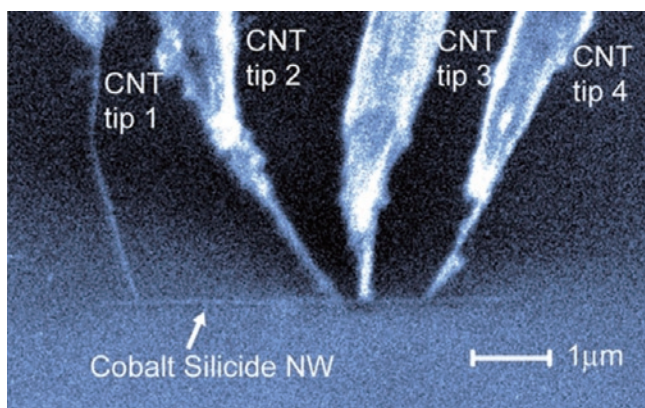


図1 4本のPtIr被覆CNT探針による電気伝導計測

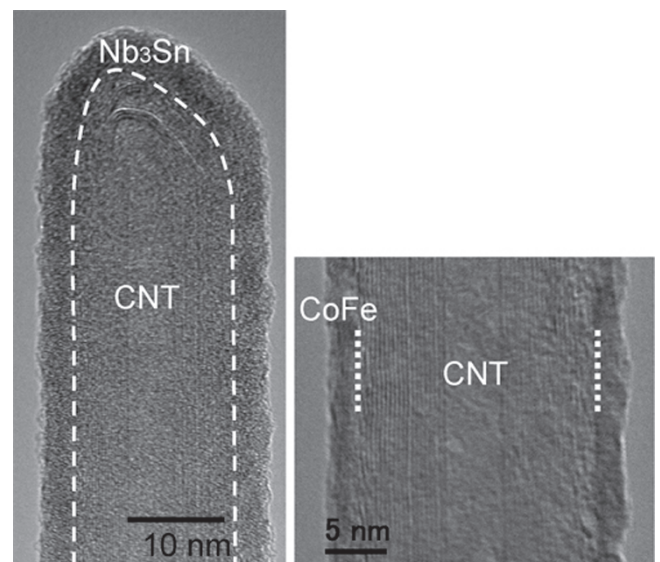


図2 さまざまな金属で被覆したCNT探針のTEM像

子膜や鎖、などの電気伝導特性の計測に汎用的に利用できるため、ナノサイエンス・ナノテクノロジーに重要な計測装置となる。また、複数本の探針によるSTS（走査トンネル分光）計

測を行えば、今までに不可能だったグリーン関数の直接計測も可能となり、電子波動関数の伝播や寿命に関する情報が得られる。

4本のカーボンナノチューブ探針によって半導体集積回路の評価などを可能に

この装置は下記の計測ニーズに貢献でき、研究用の試作器としてではあるが既に年間数台販売されている。

■半導体産業の研究開発・品質管理の現場への寄与

現在、半導体産業の研究開発・品質管理の現場において、半導体集積回路の特性評価・不良箇所の解析等のために、プローバーという装置が広く用いられている。それは、複数本の金属探針をSEMまたは光学顕微鏡観察しながら集積回路の特定の箇所に接触させて電気信号を検出する装置である。デバイスのサイズがナノメータ領域まで小さくなると、現状のプローバーの分解能では不十分となり、STMの原子レベルの探針位置制御および極細な導電性探針が必要となる。金属被覆した導電性CNTを装着した本4探針STM装置は、まさにその性能を有しており、このニーズに貢献できる。

■ナノエレクトロニクス・生物物理学研究への寄与

各種ナノワイヤ、高分子鎖、DNA分子、量子ドット、超格子原子層などは、ナノエレクトロニクスまたは分子エレクトロニクスでのデバイス・コンポーネントとして利用されようとしているが、それらナノメータスケール構造体の電気伝導特性の評価のために本4探針STM装置がすでに有効活用されている。また、SEMではなく、光学顕微鏡を用いて大気中・液中で4探針STMを稼働させれば、神経細胞など生体試料の電気特性の測定にも利用できる。

■実験物理学への寄与

(1) ナノ電子輸送物理への寄与

電子波長程度（サブミクロン・スケール）の構造体の電

子輸送現象を扱う「メソスコピック物理」をさらに進化させ、ナノメータスケール構造体の電子輸送物理の計測手法として不可欠な実験装置となる。リンググラフィ技術に依らずに、複数本の探針を電極として利用できるため、本装置は汎用性が極めて高いと言える。電子のコヒーレンス長以内で複数本の探針でキャリアの入出力を行えるので、キャリアの干渉効果、多体効果、量子もつれ状態などの研究に有用である。

(2) グリーン関数の実空間マッピングへの寄与

単一探針STM装置では、個々の原子や分子を直接観察できただけでなく、電子波動関数を可視化することができ、物理学に大きなインパクトを与えた。本多探針STMでは、さらに進んで、電子波動関数の伝播を記述するグリーン関数の可視化が可能であることが理論的に予言されている。それを実現した例は未だ無いが、それが実現すれば、実験物理学史上、極めて大きな学問的なインパクトを与えることは間違いない。

(3) ナノスピントロニクスへの寄与

伝導電子のスピンの向きを制御し、それを利用して情報処理をするスピントロニクスと呼ばれる分野の研究が盛んに行われているが、本プログラムで開発した磁性体被覆カーボンナノチューブ探針を用いると、スピン偏極した電子を試料に注入することができる。それにより、スピンホール効果など、スピン輸送に関わる新しい物理現象の実験が可能となり、ナノスピントロニクスの研究に貢献できる。

上記成果の科学技術的根拠

【出願特許】

1. 特願 2007-039718、「プローブの位置決め装置」、出願人：東京大学、(株)ユニソク

【発表論文等】

1. S. Yoshimoto, Y. Murata, K. Kubo, K. Tomita, K. Motoyoshi, T. Kimura, H. Okino, R. Hobara, I. Matsuda, S. Honda, M. Katayama, and S. Hasegawa: "Four-Point Probe Resistance Measurements Using PtIr-Coated Carbon Nanotube Tips", Nano Letters 7, 956 (2007).
2. R. Hobara, N. Nagamura, S. Hasegawa, I. Matsuda, Y. Yamamoto, K. Ishikawa, and T. Nagamura: "Variable-Temperature Independently-Driven Four-Tip Scanning Tunneling Microscope", Review of Scientific Instruments 78, 053705 (2007).
3. H. Konishi, Y. Murata, W. Wongwiriyan, M. Kishida, K. Tomita, K. Motoyoshi, S. Honda, and M. Katayama, S. Yoshimoto, K. Kubo, R. Hobara, I. Matsuda, and S. Hasegawa, M. Yoshimura, J.-G. Lee and H. Mori: "High-yield synthesis of conductive carbon nanotube tips for multiprobe scanning tunneling microscope", Review of Scientific Instruments 78, 013703 (2007).