

ハイブリッドマグネットを用いた強磁場 STM の開発

Development of the High-Field STM for Hybrid Magnet System

東北大・金研 西寄 照和, 小林 典男
T. Nishizaki, N. Kobayashi
Institute for Materials Research, Tohoku University

1. はじめに

最近の走査型トンネル顕微分光(STM/STS)実験から、酸化物高温超伝導体をはじめとする強相関電子系にはナノスケールの空間不均一が存在し、その中にある種の電子秩序状態が存在することが明らかにされつつある。また、高温超伝導体の渦糸状態は強磁場中の超伝導物性を支配する重要なパラメータであるとともに、渦糸コア内の準粒子励起状態を観測することで超伝導電子物性を研究できるため、強磁場下での STM/STS 実験が注目されている。しかし、これまでの STM/STS 実験では市販の超伝導マグネットを用いることが多く、最高磁場は 10T 程度に限られていた。STM/STS 法は原子スケールの空間分解能で位置を指定して電子状態を明らかにできる有力な手法であるため、酸化物高温超伝導体のナノスケールでの磁場中電子物性の研究に非常に有効な手段であり、更なる高磁場下での実験が望まれている。

本研究の目的は、これまでの STM 装置では未踏領域であった強磁中で局所電子状態の測定を可能にし、強相関物質の巨大磁気抵抗をはじめとする磁場誘起相転移、スピン自由度の制御による電子状態の変化をナノスケールの視点から研究できる実験装置、環境を構築することである。そのために、最高磁場 30T の東北大金研ハイブリッドマグネット(30T-HM)、最高磁場 18T の冷凍機冷却マグネット(18T-CSM)を使用することを念頭において小型の強磁場 STM の開発を行った。

2. 実験

STM 測定では、STM 探針と試料間の距離をナノスケールの精度で保ち、試料表面の原子配列を確認しながら分光実験を行うことができる。このことは、探針-試料表面間距離を原子分解能でコントロールすることが必要となり、30T-HM や 18T-CSM などのように大型施設に設置されている共同利用型マグネットでは環境ノイズが大きな障害となる。前年度の実験によって、小型の STM ヘッドが完成し、30T-HM 室外からの遠隔操作が可能になった [1]。今年度は、解決すべき問題点として、(a)周辺装置からのノイズ、(b)30T-HM では水冷マグネット(WM)冷却水からの振動ノイズ、(c)18T-CSM では冷凍機からの振動ノイズ、などに対して振動対策を重点的に行った。

2-1. 完全非磁性除振台の設置

強磁場 STM の測定環境において予測される振動ノイズを低減するために、非磁性除振台を導入した。市販の除振台は非磁性タイプであっても構造材料以外に磁

性部品を使用していることが多く、マグネット直上での漏洩磁場が 1~2T にも達する 18T-CSM や 30T-HM では使用することはできない。そのため、細部の部品まで非磁性材料を用いた完全非磁性除振台を設計した(図 1)。この除振台はダイヤフラム型エアスプリング、センサー式の自動レベル調整機構を備えており、共振周波数は 3Hz 程度である。また、マシンタイム制の短期間測定を想定して、コンパクトで設置が容易であること、18T-CSM と 30T-HM の両方で使用可能であること、などを満たす仕様とした。



Fig. 1 Non-magnetic vibration-isolation table for 30T-HM and 18T-CSM.

2-2. STM 測定

導入した除振台の性能を評価するために、18T-CSM と 30T-HM に除振台を設置し、標準試料 HOPG を用いて STM 測定を行った。探針には機械研磨した PtIr を用いた。また、30T-HM においては、WM の振動ノイズの影響を調べるために、冷却水を流した状態でも STM 測定を行った。

3. 実験結果

30T-HM 室において FFT アナライザーを用いて振動加速度を調べた結果、除振台上のノイズはバックグラウンドノイズと比べ、振動レベルが 2 桁以上減少することが分かった。また、STM 動作についても、WM の冷却水を流さない場合には、明瞭な原子分解能を持った STM 像が得られた。

一方、18T-CSM における振動加速度の FFT 測定の結果、XY 方向に 200Hz 程度の振動ノイズが存在することが分かった。このノイズは GM 冷凍機のモーターやピストンなどが大きな振動源となり、磁場の印加と関係なく存在する。また、除振台を用いない場合は原子分解能を持った STM 測定は困難であり、本研究で導入した除振台を用いることではじめて

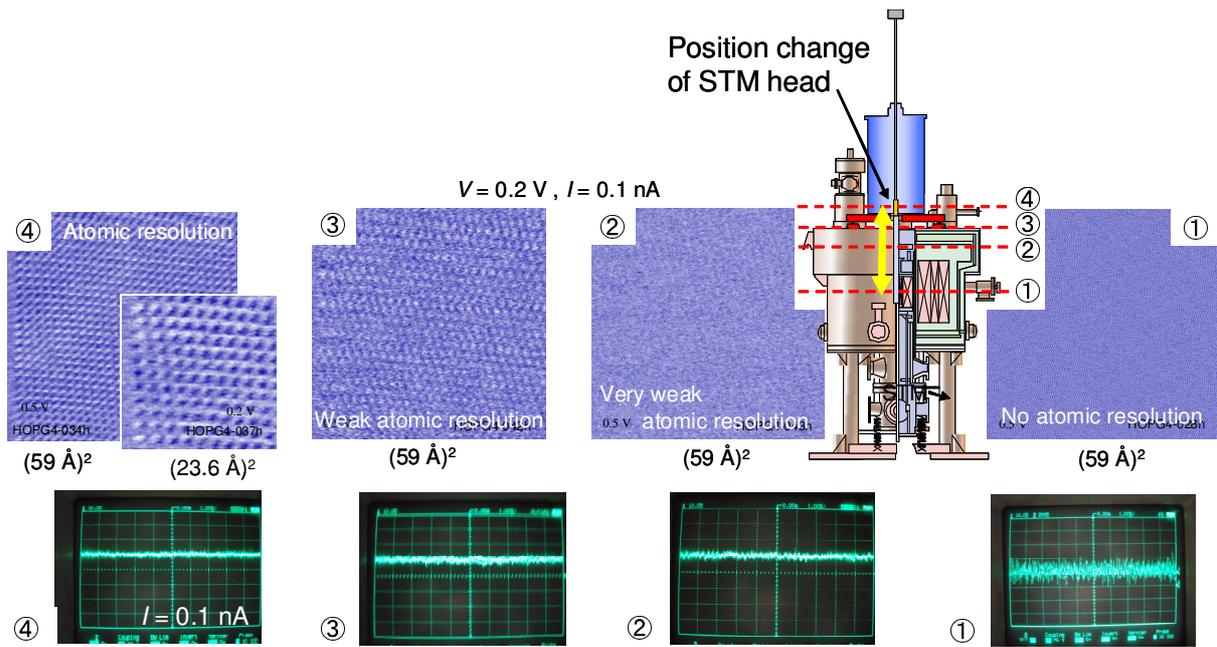


Fig. 2 STM images (HOPG) and the tunneling current ($I = 0.1 \text{ nA}$) as a function of the STM head position (①–④) in 30T-HM with the cooling water of WM ($H = 0 \text{ T}$).

18T-CSM での磁場中 STM 測定が可能になった。

30T-HM における WM 冷却水の振動ノイズが STM 測定結果に与える影響を調べた結果を図 2 に示す (上段: STM 像, 下段: トンネル電流). STM ヘッドを 30T-HM の磁場中心部分にセットした場合には①に示すように, STM 像に原子分解能は得られず, トンネル電流も不安定であることが分かる. この結果は WM 冷却水によるノイズが強く, 一見, 除振台が振動ノイズを十分低減できていないように見える. しかし, STM ヘッドを②WM の直上, ③HM の直上, ④除振台の直上へと位置を変えて STM 測定を行った結果, STM ヘッドがマグネット中心から離れるにしたがってトンネル電流のノイズは減少し, 最終的には原子像の測定が可能になった. 特に, STM ヘッドがマグネットの外にある場合には良好な原子像の観測が可能であった(図 2 の④).

この①から④の配置では, STM ヘッドはインサートを通してデュワーに固定されており, デュワーは除振台上に設置されている. つまり, 振動が STM に伝わる機械的な結合は全ての場合において同等である. このことは, WM 冷却水による機械的な振動ノイズは除振台によって十分低減されているが, 機械的な振動以外のノイズが存在していることを意味している. この場合にノイズ源として考えられるのは, 空気振動として伝わる WM の振動ノイズと冷却水の流れによる音響ノイズなどである. 今後これらのノイズを低減されるための遮蔽構造を導入するなどの対策を進める予定である.

4. まとめと今後の課題

30T-HM を用いた強磁場において動作可能な STM

を開発するため, 小型 STM ヘッドを自作するとともに強磁場中で使用可能な完全非磁性除振台を設計した. 30T-HM, 18T-CSM に除振台を設置し, HOPG 試料の STM 測定を行なった. その結果, 18T-CSM では除振台によって 200Hz の周波数を持つ強い振動ノイズを取り除くことに成功し, 原子分解能を持った STM 測定が可能になった. しかし, 30T-HM において, WM 冷却水を流した状況下では機械的な振動ノイズは十分低減されているものの, 空気振動や強い音響ノイズの存在によってトンネル電流が不安定になり, 原子像を得ることは困難であった.

今後は, 明らかになった問題点を更に改良し, 高性能な強磁場 STM の開発を目指す. 特に, 防音の対策を重点的に行うとともに, STM ヘッドを更に小型化し高温超伝導体の低温での物性測定を行う予定である.

謝辞

HM-STM の開発にあたり, 有益なご議論をいただきました A. Troyanovskiy (Kapitza Institute for Physical Problems), 花栗哲郎(理研)の各氏に, また設備面で多くのサポートをいただきました強磁場超伝導材料研究センターの渡辺和雄教授, 淡路智准教授に感謝いたします. 本研究は文科省特定領域研究「100 テスラ領域の強磁場スピン科学」(領域代表: 野尻浩之教授)の援助を受けて行われました. ここに感謝いたします.

参考文献

- [1] 西寄照和, 小林典男: 東北大学金属材料研究所 強磁場超伝導材料研究センター平成 18 年度年次報告, p. 203.