

ハイブリッドマグネット・冷凍機冷却超伝導マグネットを用いた強磁場 STM の開発 Development of High-Field STM for Hybrid Magnet and Cryocooled Superconducting Magnet Systems

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

1. はじめに

走査型トンネル顕微鏡(STM)は原子スケールの空間分解能で位置を指定してトンネル分光(STS)を行うことができる特徴的な手法であるため、酸化物高温超伝導体をはじめとする強相関電子系物質のナノスケールでの電子状態の研究に非常に有効な手段である。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状態の研究が可能であるため、強磁場下での STM/STS 実験が注目されている。10T 以下の弱磁場領域では、STM/STS 法を適用することは比較的容易であり、実際に多くのグループによって研究が行われている。しかし、酸化物高温超伝導体におけるナノスケールの電子秩序状態に対する磁場効果や強相関電子系における磁場誘起相転移の実空間観測などを行うためには、10T を超える強磁場領域における実験を可能にする必要がある。

本研究の目的は、これまでの STM 装置では未踏領域である強磁中において局所電子状態の測定を可能にし、強相関電子系物質の電子状態の変化や高温超伝導体の渦糸状態について、ナノスケールの実空間観測を可能にするための実験装置と環境を構築することである。そのために、最高磁場 18T の冷凍機冷却マグネット(18T-CSM)と最高磁場 30T の東北大金研ハイブリッドマグネット(30T-HM)を使用することを念頭において

小型の強磁場 STM の開発を継続的に行っている[1, 2]。本報告書では、これまでに行ってきた強磁場 STM 開発の現状と今後の課題について、18T-CSM を用いた STM の結果を中心に報告する。

2. 実験

STM 測定では探針-試料表面の距離をナノスケールでコントロールすることが必要であり、大型施設に設置されている共同利用型強磁場マグネットでは環境ノイズが大きな障害となる[1, 2]。このような問題を解決するために、(a)小型の STM ヘッドの作製、(b)完全非磁性除振台の作製、(c)環境振動ノイズ計測、などを行った。

図 1 に 18T-CSM 用の強磁場 STM 装置の概略を示す。18T-CSM 直上に設置した除振台の上(図中の Position B)と下(Position A)において振動ノイズ計測を行い、導入した除振台の性能を評価した。また、標準試料 HOPG と機械研磨した PtIr 探針を用いて最高磁場 18T まで強磁場 STM 測定を行った。

3. 実験結果

図 1 の Position A と B における x 方向の振動加速度をそれぞれ図 2(a)と 2(b)に示す。図に示すように、18T-CSM 直上では振動加速度が $\sim 0.4 \text{ m/s}^2$ 程度の大きな振幅を持つのに対し、除振台を用いることで振動加速度の振幅が 2 桁以上抑制できることが分かった。

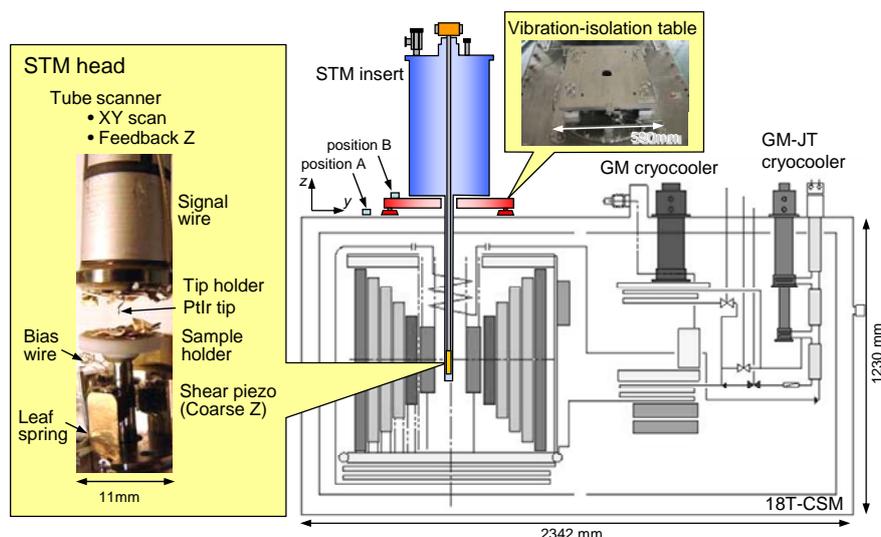


Fig. 1 Schematic illustration of the high-field STM installed on the 18T-CSM. Main parts for the STM head are shown in the left photograph. The nonmagnetic vibration-isolation table (upper right photograph) is set up between the 18T-CSM and the STM insert.

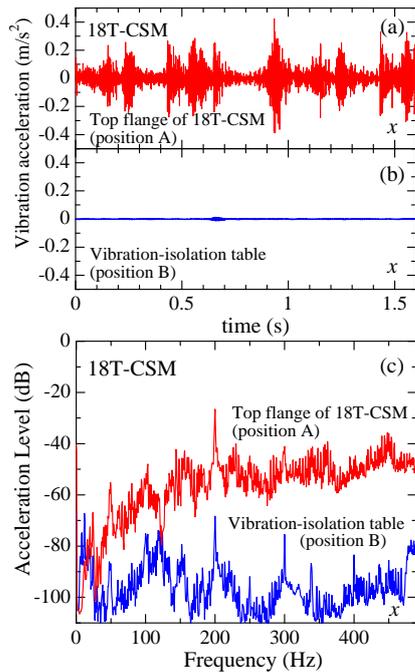


Fig. 2 Vibration acceleration signal on (a) position A and (b) position B in figure 1. (c) Corresponding vibration acceleration level.

図 2(c)には振動加速度をフーリエ変換して得られた振動加速度レベル $L=20\log(a/a_0)$ の周波数依存性を示す。ここで、 a は振動加速度の実効値、 a_0 は基準値 (1 m/s^2) である。図 2(c) のスペクトルは 200Hz 付近でシャープなピークを示す。この周波数は 18T-CSM の冷凍機の駆動周波数(数 Hz)より大きいことからマグネットシステムの共振周波数に対応していると考えられる。また、 50Hz とその高調波においても共振ピークが観測されたが、その強度は強くはなかった。

図 2 の結果は x 方向における代表的な振動加速度であるが、 y, z 方向においても同様な周波数スペクトルが観測された。また、図 2(c) から分かるように、除振台による振動ノイズ除去の効果は広い周波数領域で確認され、実際に STM のトンネル電流についても冷凍機を用いない実験室とほぼ同レベルのノイズ特性であることが分かった。

図 3(a), 3(b) は室温、ゼロ磁場における HOPG の STM 像である。除振台を用いない場合には原子分解能は得られない(図 3(a))が、除振台を用いることによりトンネル電流のノイズが大幅に低減され、 2.5\AA 間隔の HOPG の原子配列が明瞭に観測された(図 3(b))。18T の磁場中における STM 測定結果を図 3(c) に示す。磁場中においてもゼロ磁場の結果と同程度の解像度の原子像が得られたことから、作製した STM ヘッドは強磁場中でも安定に動作することが分かった。

4. まとめと今後の課題

大型施設に設置されている強磁場マグネット中で動作可能な STM を開発するため、小型 STM ヘッド、完全非磁性除振台の開発を行った。18T-CSM を用いた測

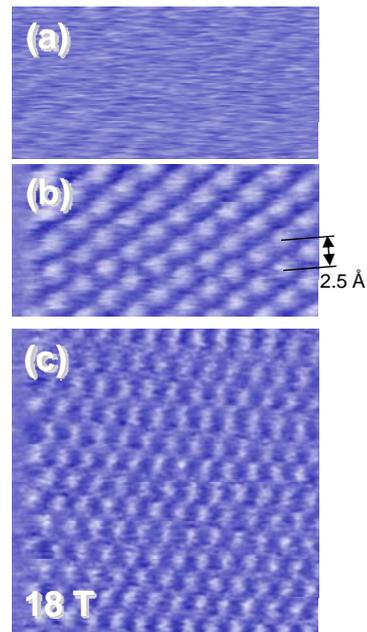


Fig. 3 STM images of HOPG ($I = 0.1 \text{ nA}$, $V = 200 \text{ mV}$). (a), (b) $H = 0 \text{ T}$, $23.6\text{\AA} \times 11.8 \text{\AA}$. (c) $H = 18 \text{ T}$, $35.4 \text{\AA} \times 35.4 \text{\AA}$. The vibration-isolation table is not active in (a), but is active in (b) and (c).

定環境におけるノイズスペクトルの測定から 200Hz の強い振動ノイズが存在することを明らかにし、このノイズは開発した除振台によって効果的に除去できることを示した。その結果、原理的に振動ノイズ源を含んでいる 18T-CSM を用いた実験環境においても、最大 18T までの強磁場中で原子分解能を持った STM 測定に世界で初めて成功した。

平成 21 年度は、これらの強磁場 STM 技術を 30T-HM を用いた実験環境へ適用するために、更に高性能な STM の開発を目指す。特に、防音対策を重点的に行き、STM ヘッドを更に小型化する予定である。

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)、花栗哲郎(理研)の各氏に、また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、西島元助教に感謝いたします。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.
- [2] 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 19 年度年次報告, p. 183.