

# 強磁場・極低温中で使用可能なカンチレバー式磁化測定装置の開発

## Development of Magnetization Measurement System using Cantilever for Ultra Low Temperatures and in High Magnetic Fields

東北大・金研 小田垣 智也, 中村 慎太郎, 淡路 智, 渡辺 和雄  
T. Odagaki, S. Nakamura, S. Awaji, K. Watanabe  
Institute for Materials Research, Tohoku University

### 1. はじめに

フェルミ面の形状や、フェルミ面近傍に存在する電子の性質は、物性を決定する大きな要因の一つである。そのような情報を得る手段の一つとして、強磁場・極低温環境での、ド・ハース-ファン・アルフェン(dHvA)効果の観測があげられる。

近年、銅酸化物高温超伝導体の擬ギャップ状態において、不連続なフェルミ面 (フェルミアーク)が角度分解光電子分光(ARPES)で報告されており[1]、dHvA 効果[2,3]の結果と併せた解析が求められている。

我々も擬ギャップ状態における dHvA 効果を観測するため、強磁場センターにある 28 T まで磁場発生が可能な無冷媒ハイブリッドマグネットと、18 mK まで冷却可能な  $^3\text{He}$ - $^4\text{He}$  希釈冷凍機を組み合わせた強磁場・極低温実験環境で使用可能な磁化測定装置として、カンチレバーを用いた高感度な磁化測定装置の開発を行った。

### 2. 実験方法

#### 2.1 トルク法による磁化測定

カンチレバーの写真を図 1 に示す。カンチレバーの付け根には piezo 抵抗が入っており、カンチレバーがたわむと、その変化を piezo 抵抗の変化として検出することができる。

磁場中に磁化した磁気異方性の大きい試料を置くと、磁化と磁場の方向をそろえるように  $\tau = M \times B$  のトルクが働く。そのトルクによってカンチレバーがたわむため、piezo 抵抗の変化から磁化の変化を見

積もることができる。

#### 2.2 準備

カンチレバーはセイコーインスツルメント社製、型番 PRC400 モールドなしを用い、試料には  $\text{Nb}_3\text{Sn}$  線材のフィラメントを用いた。試料をカンチレバーの先端部に接着する際には、XYZ レコーダーを使用し、接着剤にはアラルダイトスタンダードを用いた。

#### 2.3 測定系

測定系の概略図を図 2 に示す。dHvA 振動の観測には、非常に高感度の測定が求められるため、Wheatstone bridge を使い、検出器には Linear Reserch 社製のロックインアンプ (LR-830) を使用した。

また、室温部にある回路抵抗の温度変化もノイズの原因となるため、Wheatston bridge、可変抵抗を段ボールや発泡スチロールを用いて保温を行った。

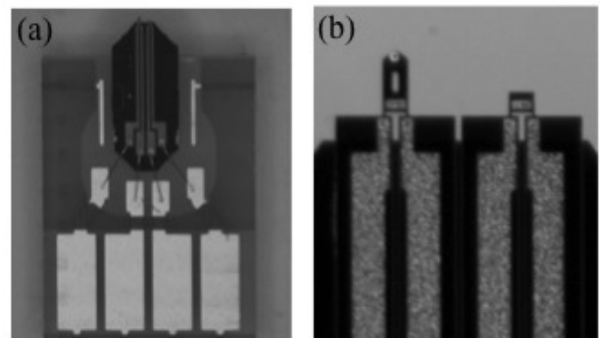


Fig. 1 Picture of Cantilever. (b) is the enlarged view.

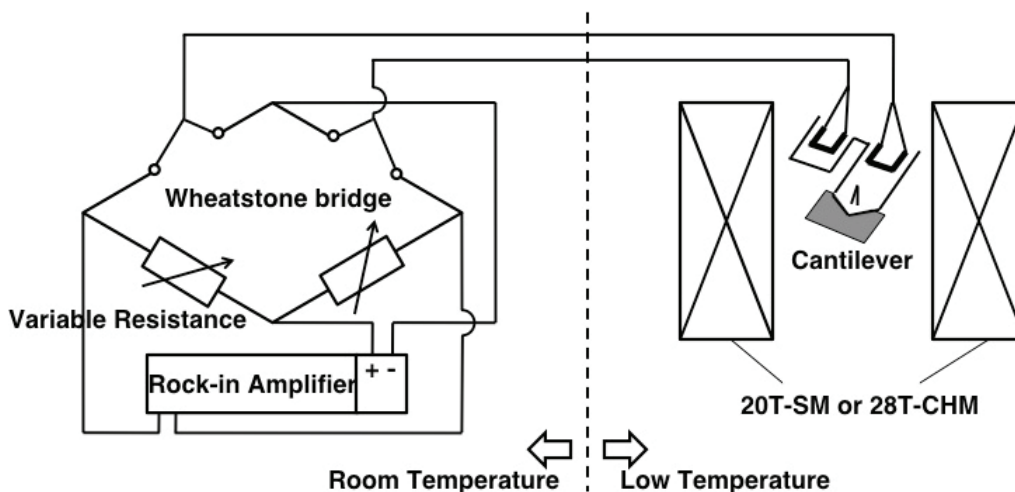


Fig. 2 Schematic diagram of the magnetization measurement system using cantilever.

## 2.4 磁化測定

### 2.4.1 20T 超伝導マグネットでの測定

温度 11 K から 16 K、磁場 17 T までの磁化測定を行った。温調はヘリウムガスフローで行った。回路抵抗の保温は段ボールで行った。

### 2.4.2 28T 無冷媒ハイブリッドマグネットでの測定

Leiden Cryogenics 社製の希釈冷凍機と 28T 無冷媒ハイブリッドマグネットを組み合わせ、温度 4 K、100 mK、磁場 26 T までの磁化測定を行った。回路抵抗の保温は段ボール、発泡スチロールで行った。

## 3. 結果

### 3.1 20T 超伝導マグネットでの測定

Fig. 3 に 11 K、13 K、16 K での、Wheatstone bridge からの出力電圧の磁場依存性を示す。観測されたヒステリシスは、第 2 種超伝導体の磁化のヒステリシスによるもので、不可逆磁場  $B_{irr}$  で消滅する。

このとき出力電圧のノイズ幅  $\Delta V_{noise} = 0.07 \mu\text{V}$  であった。

### 3.2 28T 無冷媒ハイブリッドマグネットでの測定

4 K での出力電圧の磁場依存性を Fig. 4 に示す。この測定には、回路保温用に段ボールと発泡スチロールを用いた。段ボールを使用した際、 $\Delta V_{noise} = 5.3 \mu\text{V}$  と非常に大きかった。そこで、段ボールから発泡スチロールに換えて測定を行ったところ、 $\Delta V_{noise} = 0.34 \mu\text{V}$  まで減少した。20T 超伝導マグネットでの測定よりもノイズ幅が大きいのは、水冷銅マグネット用冷却水の振動によるものである。

Fig. 5 には 100 mK での出力電圧の磁場依存性を示した。9 T 付近の変化は、磁場印加速度の変化によるものであると考えられる。不可逆磁場までは観測できなかったが、ヒステリシスは観測することができた。このことから、強磁場センターにある 28T 無冷媒ハイブリッドマグネットと希釈冷凍機を組み合わせた強磁場・極低温環境実験装置において、カンチレバーを用いた磁化測定が有効であることが分かる。

## 4. まとめ

28T 無冷媒ハイブリッドマグネットと希釈冷凍機による、強磁場・極低温環境中で磁化測定を行うため、カンチレバーを用いた磁化測定装置を開発した。

発泡スチロールを用い、室温部の回路抵抗の温度変化を防ぐことで、ノイズ幅  $\Delta V_{noise}$  を減少させた。

この装置を用いることで、 $\Delta V_{noise} = 0.34 \mu\text{V}$  程度での測定が可能である。

今後は、この装置を用い、アンダードープ  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$  の dHvA 振動の観測を目指していく。

## 参考文献

- [1] M. R. Norman *et al.*, Nature (London) **392**, 157 (1998).
- [2] Cyril Jaudet *et al.*, Phys. Rev. Lett. **100**, 187005 (2008).
- [3] Alain Audouard *et al.*, Phys. Rev. Lett. **103**, 157003 (2009).

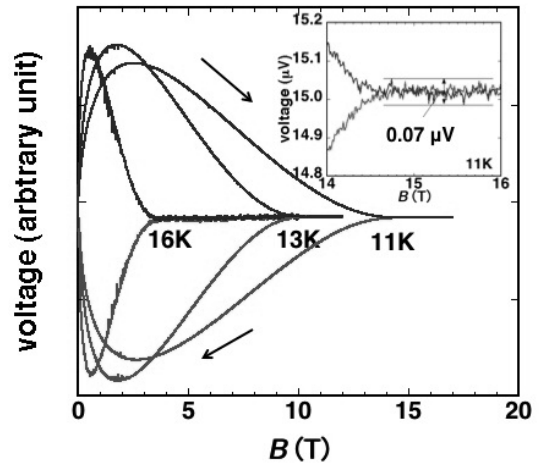


Fig. 3 Field dependence of the magnetic torque using 20T-SM. The inset shows the noise level of voltage of detector.

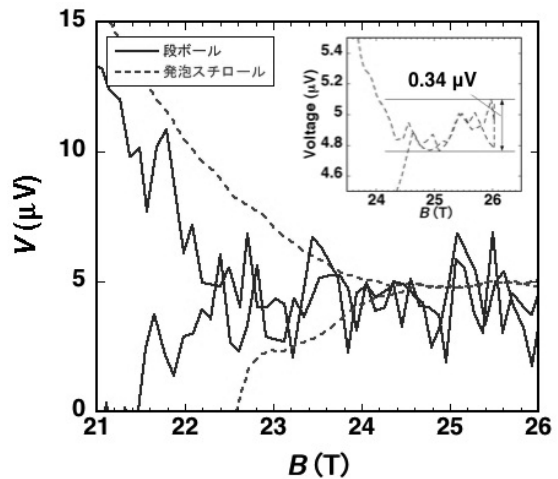


Fig. 4 Field dependence of the magnetic torque using 28T-CHM. The inset shows the noise level of voltage of the detector using foam box.

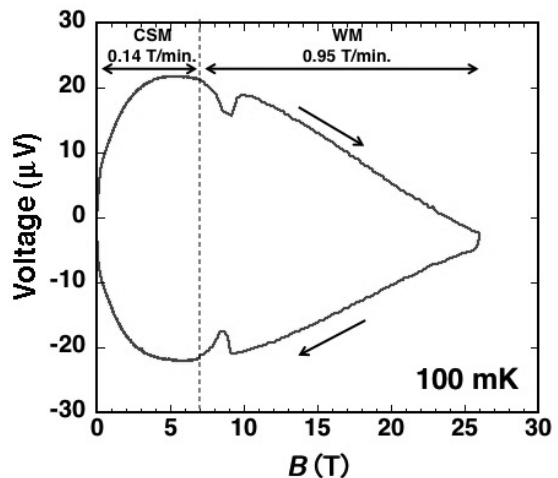


Fig. 5 Field dependence of the magnetic torque.