

Title	Fkuxgate Magnetometerをつかった1K以下での磁化測定法について
Author(s)	門脇, 和男
Citation	大阪大学低温センターだより. 1981, 33, p. 17-19
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/7768">https://hdl.handle.net/11094/7768</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

# Fluxgate Magnetometer を使った 1K 以下での磁化測定法について

理学部 門 脇 和 男 (豊中 4156)

## 1. はじめに

我々の研究室では、以前より極低温(特に1K以下)に於ての磁性を研究する目的でESR, 電気抵抗, 磁気抵抗, 帯磁率, 磁化等の基礎的な実験が行なえる様に装置の開発を行なって来た。我々の装置作製上の principle は "Simple is best." である。これは何もやみくもに簡単にせよという意味では勿論なく実験の目的を最小限の労力で果たせる様に装置を compact にせよということである。特に1K以下の実験を経験されたことのある方ならつくづく感じられる事だと思いが装置の set up や実験時間の長時間化によって研究能率が大きく低下するからだ。このうちESR装置については既にこのシリーズ(No 11, 1975)で述べられている。電気抵抗, 磁気抵抗, 交流帯磁率等は1K以下でも冷却法さえ確立していれば別段むずかしくない。ところが磁化を測定しようとすると、それが大変基礎的な物理量であるにもかかわらず手軽に測定する方法は、特に1K以下になるとなかなか見つからない。通常天秤法は1K以下では技術的に困難になる。交流帯磁率を積分する方法, pick up coilによる誘導電圧を積分する方法もあるがバランスの問題, 磁場掃引の問題があり厄介である。最も popular な方法はSQUIDであろうが、高感度の為大がかりな電磁氣的ノイズシールドが必要で手軽にはとてもできない。これ等の事を考えるとFluxgate magnetometer 法は次の諸々の点で我々の目的には最適であろうと思われる。SQUIDに比べれば数桁感度が悪い(磁化変化で $\Delta M \approx 10^{-5}$  Gauss が限界)が、常磁性, 強磁性等なら十分測定できる事, 装置はHewlett Packerd(H.P)社のClip-on DC milliammeter<sup>1)</sup>(H.P. 428 B)と付属のアクセサリーの磁場用 probe(H.P. 3529A)を使って簡単に組み立てられる事, SQUIDのような大げさなシールドが不要な事, シグナルメータの読みがそのまま sample の磁化に比例する事等である。欠点は磁化の絶対値は既知のもので較正せねばならず多少精度が悪い事, 磁場掃引がむずかしいことである。

この方法は最初Andres *et al.*<sup>2)</sup>がmK領域で核磁化を測定する為に採用したもので我々はこれに目をつけ1K以下とり合えず<sup>3</sup>He 温度領域までの磁化を測定することを目標に装置作りに着手した。以下に装置の詳細を書く。

## 2. 装置

原理はSQUIDに似ているが, SQUID素子の代りに磁場用 probe を使う。この probe は小型(約6mm  $\phi$   $\times$  2.5 cm)で50  $\mu$ Gauss程度まで測定できる。図1の様な pick up coil, probe coil とそれらを結びリード線から成る超伝導閉回路を考える。超伝導の性質からこの回路に trap される全磁束  $\phi_T$  は常に一定に保たれる。両コイルとリード線の自己インダクタンスを

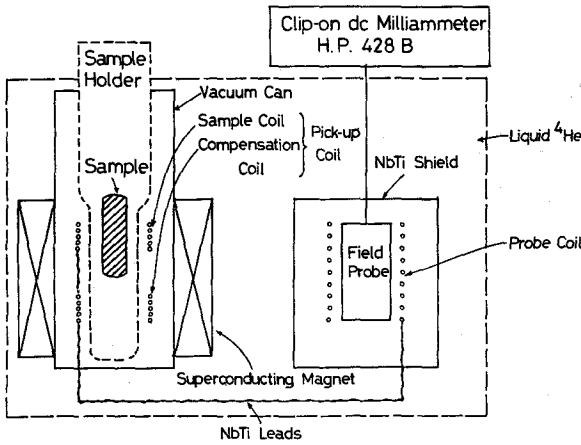


図1. Clip-on DC milliammeter  
を使った磁化の測定原理図

$L_1, L_2, L_3$ , この回路を流れる永久電流  $i$  との間  
には、

$$\phi_T = i(L_1 + L_2 + L_3) = \text{const.}$$

なる関係が成立する。この時、sampleの磁化  $M$  が  $\Delta M$  だけ変化したとすると  $\Delta M$  によって sample coil中の磁束が  $\Delta \phi$  だけ変化するがこの変化は  $\phi_T = \text{const}$  なる要請により  $\Delta i$  の超伝導電流を誘起することでcancelされる。 $\Delta \phi$  は勿論  $\Delta M$  に比例する。 $\Delta i$  は probe coil中に  $\Delta H$  の磁場を作るので、この  $\Delta H$  を probe で検出する事で磁化の変化を測定できる。

実際には図2のような断熱セルを作りこれを二種類のクライオスタットに取り付けることで二種類の測定が可能であるようにした。まず断熱セル部から説明する。セルは SUS 304 ステンレス製 (25 mm  $\phi$  O.D., 肉厚 0.5 mm) で pick up coil部分のみ銅にした。pick up coilは NbTi線 (0.07 mm  $\phi$ ) で 12  $\phi$  のベークライト (I.D. 10  $\phi$ ) に 12 turnづつ、3 cm 離して astatic に巻く。GE 7031 ワニスで固定後、リード線を STYCAST 2850 GT を介してセルから外に出す。probe coilは、7  $\phi$  の Cu tube に 62 turn 同じ線を巻き互いに spot weldする。これらの巻き数等は回路の optimum condition が  $L_1 \approx L_2 \gg L_3$  となる様に決めた。この回路に巻かれてあるヒーターは probe に余分な磁場がかからない様にしているものである。probe は  $^4\text{He}$  中に直接ひたす。この際感度が 30~40% 常温時より下がる。図のように probe coil の外に bias coil を巻いておくことと便利である。probe 部分を NbTi の棒をくりぬいて作ったシールドセルの中に入れる。このシールドを完全に行うことが重要な point である。

我々はこの断熱セルを図3の様な二種類のクライオスタットに取り付けられる様にした。取り付けはウッドメタルで行なう。1つは  $^3\text{He}$  温度までの磁化の温度変化測定用 (Model I) でもう一つは  $^3\text{He}$

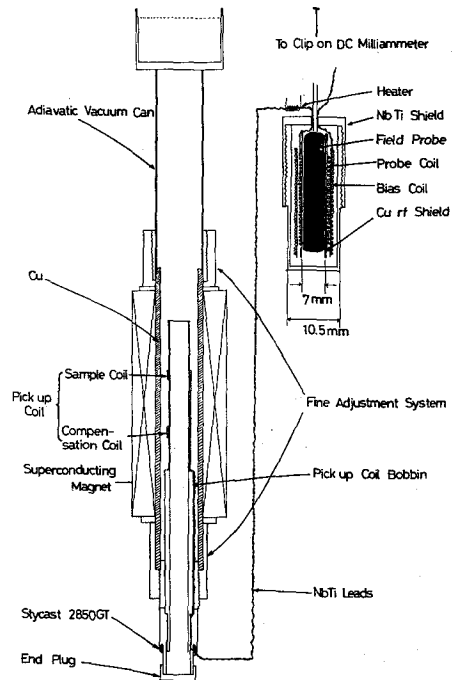


図2. クライオスタット断熱セル部分

温度で引きぬき法で磁化を測定するもの (Model II) である。sample は細長い棒状のもの (3φ程度) を Apiezon grease で thermal link の中にうめ込む。Model II では sample を上下する際、最低温度 0.45 K 付近で約 20~30 mK の温度上昇が見られるが磁化が大きく温度に依存しない限り十分測定できる。温度は較正済の Germanium 温度計で I. T. (Instruments for Technology, Finland) 社の automatic resistance bridge を使って測定する。

### 3. まとめ

前述の様にこの Fluxgate magnetometer は特に 1 K 以下の磁化測定に有効である。感度も手ごろでまた SQUID とは異なり強い磁場をかけても測定できる。ただし磁場の強さとともに noise も増す。これは magnet の磁場が外界の磁場の fluctuation と結合する為と思われる。我々は 30 kOe 程度までしかかけていないがこの程度の磁場では noise は大して気にならない。より高磁場で使い時は shield を必要とするかも知れない。

この装置の最大の欠点は磁場掃引がむずかしい事である。我々は pick up coil のバランスを十分とり magnet の位置を少しずつ変えて行ってみたが成功しなかった。その原因は unbalance 分を補償するのが困難な事 unbalance 分が磁場の値で異なる事、さらに磁場に対して hysteresis をもつこと等である。これ等の問題を解決するのは大変な様である。

最後に、我々はこの装置を使って最近興味を集めている磁性超伝導体、特に  $\text{ErRh}_4\text{B}_4$  の磁化を測定する事により、また電気抵抗、磁気抵抗の測定とあわせて磁性と超伝導との関連を研究して来た。<sup>3)</sup> 詳細は参考文献並びにこのセンターだより No. 27 (1979) を参照していただきたい。

### 参考文献

- 1) 参考までに現時点 (1980 年 12 月現在) での価格は Clip-on DC milliammeter H.P. 428 B (344,000円), 付属の probe H.P. 3529A (32,000円) である。
- 2) K. Andres and J.H. Wernick : *Rev. Sci. Instrum.* **44** (1973) 1186, K. Andres and E. Bucher : *J. Low. Temp. Phys.* **9** (1972) 267.
- 3) K. Okuda, Y. Nakakura and K. Kadowaki : *Solid State Commun.* **32** (1979) 185, K. Okuda, Y. Nakakura and K. Kadowaki : *J. Magn. Magn. Mater.* **15-18** (1980) 1575.

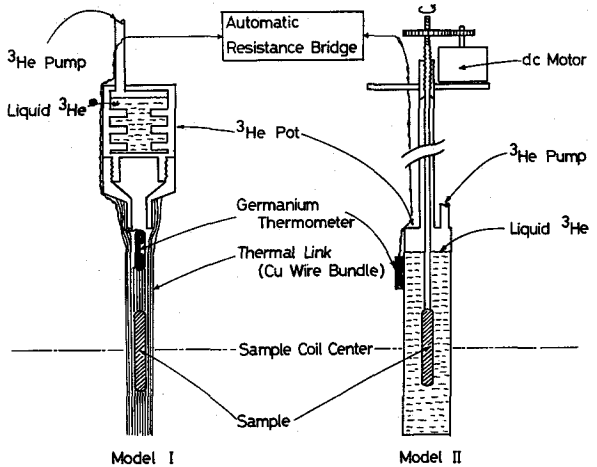


図 3. 二種類  $^3\text{He}$  クライオスタット。  
Model I は温度変化用, Model II は引きぬき用クライオスタット。