Osaka University Knowledge Archive

Title	光干渉法を用いた磁歪測定装置
Author(s)	竹内, 徹也; 山岸, 昭雄
Citation	大阪大学低温センターだより. 1993, 83, p. 16-20
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/9349
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

光干渉法を用いた磁歪測定装置

低温センター豊中分室　竹内徹也（豊中2165）
極限物質研究センター　山岸昭雄（豊中6130）

最近ランタノイド・アクチノイド化合物についての研究が盛んに行われている。例えば単結晶試料（URu_2Si_2、UPd_2Al_3、DyAgなど）[1,2]の磁化測定では、強磁場下で、磁気相転移にともなうメタ磁性的な磁化のとびが見られ、このような物性について非常に興味が持たれている。ところで磁歪とは磁場中で試料の長さが変化する現象であるが、これは基本的にはスピン状態の変化によるスピン間相互作用のエネルギーの減少と、結晶が歪むことによる弾性エネルギーの増加との兼ね合いによって決定されると考えられる。つまり磁化と磁歪は密接な関係があり、メタ磁性的な磁化のとびにともなって、試料が伸び縮みする事が期待される。しかしこのような現象を観測するには磁場強度の大きいパルス磁場が必要であり、パルス強磁場下で磁歪測定を行うことは磁気相転移のメカニズムを解析するのに有用な情報を与えるであろう。またメタ磁性的な磁化変化などにみられる物性は特に低温で顕著に現れ、こうした状況から低温・強磁場中での磁歪の測定を行うことが重要となってきた。

ところで磁歪の測定法としてはstrain gauge法[3]、capacitance法[4]などがあり、定常磁場ではおもにstrain gauge法が用いられている。パルス磁場中ではcapacitance法により金属間化合物の磁歪が測定されているが、これはインピーダンスが高いため電磁ノイズには弱い特性を持っている。我々は従来から光干渉法を用いた磁歪測定装置を使用しているが、原理的にcapacitance法に比べ電磁ノイズに強く、最高感度も10^{-7}程度が期待される[5]。そこで、1）低温で使用できる、低温用デュワーの限られた空間で使用するため、2）無調整で干渉計が構成でき、3）干渉計の外径はできるだけ小さい、の3条件を備えた光ファイバーを用いたパルス強磁場用磁歪測定装置を作成した。図1に装置の原理図とこれによっ

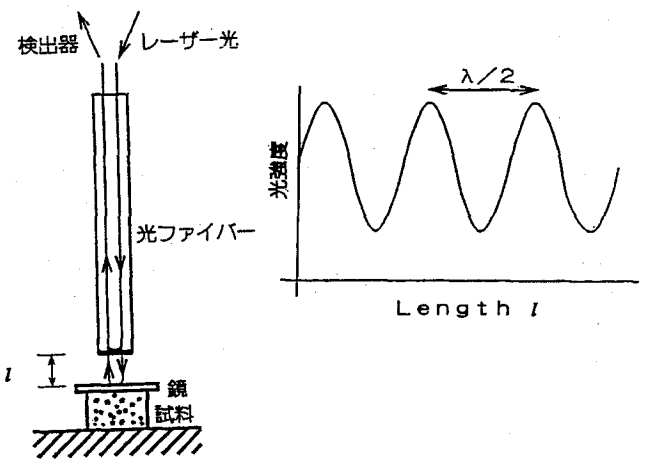

図1　光ファイバーを用いた干渉計の原理図と干渉光強度変化

て得られる干渉光の強度変化を示す。まず光ファイバーの端面と試料を取り付けた鏡を向かい合わせる。光ファイバーの端面ではおよそ４％の反射率があり、試料に取り付けられた鏡とで干渉計を構成する。光ファイバーからの光は回折によって広がっているので、鏡が多少傾いても干渉計は大きくは崩れない。そのため調整箇所が不要で装置全体はコンパクトになり、大部分を石英ガラスで構成することにより液体ヘリウム温度で使用することが可能となった。干渉光強度は光ファイバーと鏡との距離 l の変化によって増減を繰り返し、山から山までの距離変化が $\lambda/2$ に対応する[6]。試料の下端と光ファイバーを石英パイプに固定すると、試料の伸び（縮み）に応じて l が変化して干渉光の強度が変化する。この山の数を調べると試料の伸びを測定することができる。試料の伸びが $\lambda/2$ 以下の時は、あらかじめ距離 l と光強度の関係を求めておき、光強度変化を伸びに換算する。

強磁場中で光ファイバーを用いてこのような測定をする場合注意を要することがある。光ファイバー自体のファラデーローテーションが観測に引っかかってくるからである。光そのものは電磁場中では影響を受けないが、磁場中におかれたファイバーの中を光が進むときは事情が異なってくる。強磁場中の光ファイバーの中ではファラデー効果の為、光の偏波面は回転しながらすすむ。この結果磁場を変化させるとファイバーからでてきた光の強度は変化する。図２ａ）にパルス磁場中の通常の単一モード光ファイバーを通過した光の強度変化を磁場波形とともに示す。磁場が増加するに従って光強度が変化し、磁場のピークを境にして対称に折り返しているのがわかる。この特性は干渉計としては大きな障害となる。様々な光ファイバーをテストしてみた結果、偏波面保存光ファイバーが有望であることがわかった。このファイバーは光伝搬方向に垂直な面内で伝搬特性に大きな異方性を持たせたもので、入射光の偏波面を保ちながら光が進む構造になっている。図２ｂ）にその光強度の磁場依存性を示す。磁場が増加しても偏波面が回転せず光強度が変化していないことがわかる。

図３にクライオスタットの詳細図を示す。低温に冷却したときの熱収縮をできるだけ押さえるために大部分が石英製となっている。光ファイバーは先端５㎜ 程の長さのプラスチックの保護皮膜を取り除き、ファイバー本体をむき出しにして接着剤で台に固定する。試料は円柱状のベークライトのうえに置き接着剤で固定

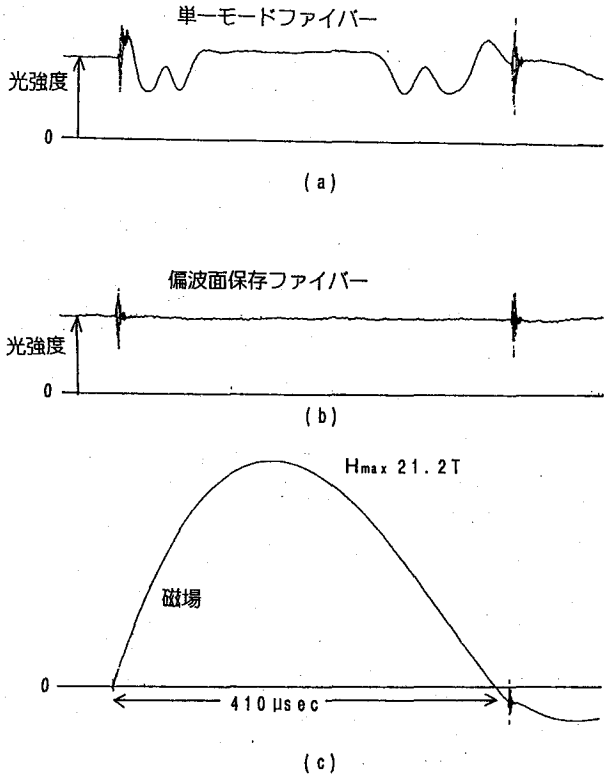

図２　磁場中を通した光ファイバーに対する磁場効果

する。その上にアルミニウムを真空蒸着した厚さ約0.2 ㎜、面積約0.3 ㎟のガラス板を台と平行に取り付ける。これを石英パイプの下から挿入し先端で固定する。各部の接着には低温での体積変化を極力押さえるために非磁性のアルミナ粉末を混ぜた速乾性アラルダイトを用い、熱収縮による接着面のはがれを防ぐために接着剤の量は必要最小限に、極力薄く均一に塗る。全体のブロック図を図4に示す。He-Neレーザー（λ=632.8nm）の光を顕微鏡用レンズで集束し偏波面保存光ファイバーに通す。光ファイバーの入射端面からの反射光を極力押さえるためにレンズとの間をマッチングオイルで浸す。光ファイバーからの出力光が直線偏向になるようにレーザー光の偏波面と偏波面保存光ファイバーの偏

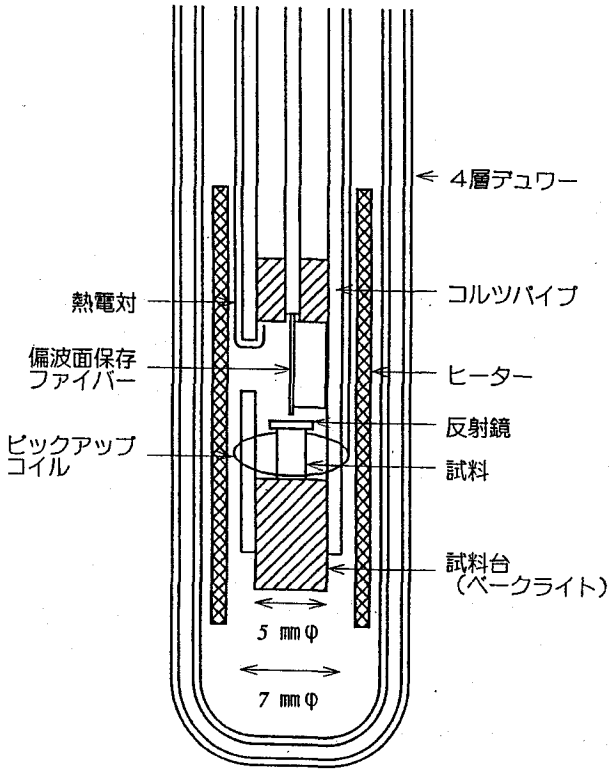

図3　干渉計を中心としたクライオスタットの詳細図

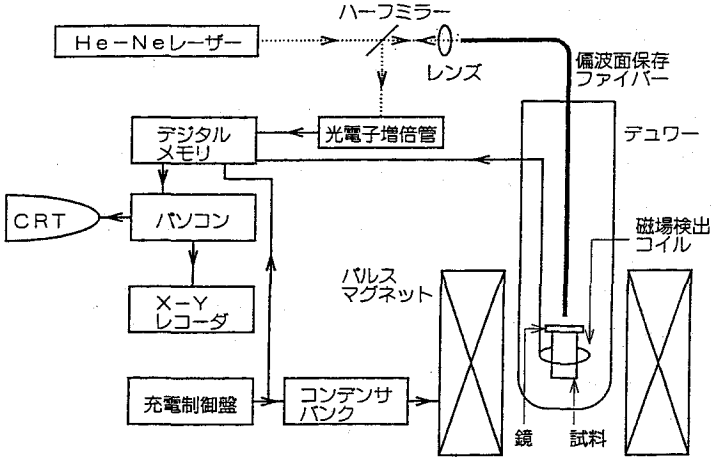

図4　測定のブロック図

向軸とをあわせ、強磁場下で偏波面が回転しないようにする。光ファイバーを通って帰ってきた干渉計からの光をハーフミラーで分波し光電子増倍管で検出する。

テストサンプルとしてインバー合金であるFe-25Ni-6Mnを取り上げ測定した結果を図5に示す。

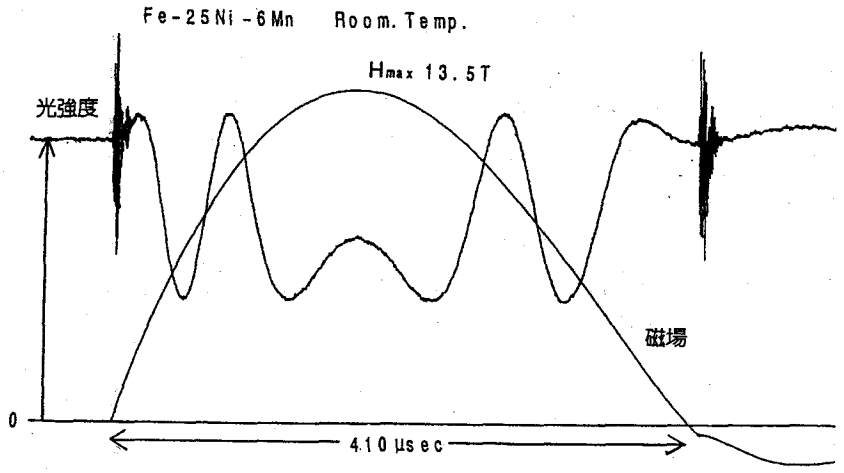

図5　室温に於けるFe-25Ni-6Mnの磁歪

このサンプルは磁性などについてよく調べられており、また従来の方法で磁歪が測定されている。磁場が増加するに従って光強度が強弱を繰り返しているのは試料が伸びていることを示し、磁場のピークを境に強度変化が折り返して試料が縮んでいるのがわかる。さらに高磁場での測定から得られた結果は、従来の装置によるものとよい一致を示した。ヘリウム温度における測定例としてDyAgの磁歪を図6に示す。DyAgはCsCl型の結晶構造を持ちT_N=55 Kで反強磁性オーダーする。Dyスピンは四重極オーダーによって［111］方向を向いている。強磁場によってこの四重極オーダーが壊れ、多段のステップ磁化を示して飽和に至るまでの過程が観測されている[2]。［111］に磁場をかけた時の磁化を図6に磁歪とともに示す。8テスラ付近で、磁化のステップに対応した磁歪が観測されていることがわかる。

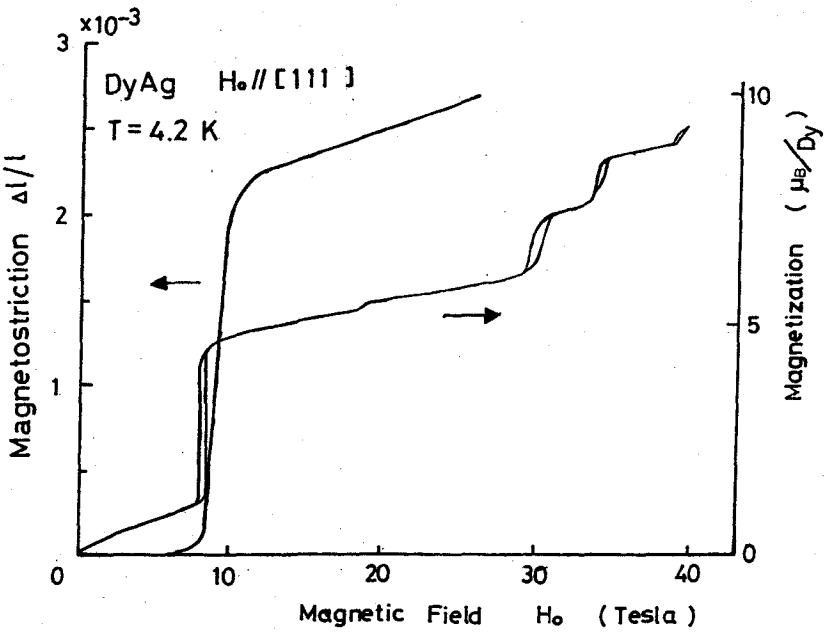

図6　4.2Kで測定されたDyAgの［111］方向での磁化と磁歪

文 献

1) K. Sugiyama et al.: J. Phys. Soc. Jpn. **59** (1990) 3331.

2) A. Yamagishi et al.: J. Magn. Magn. Mat. **90** & **91** (1990) 51.

3) 近角 : 磁気 (共立出版、1968) 磁歪の測定.

4) G. Kido : Physica B **155** (1989) 199.

5) A. Takemoto : Master paper, Osaka Univ., 1984.

6) M. Born and E. Wolf : Principles of Optics, 4th edition (Pergamon Press, 1970) Chap. 7.