

# 強磁場における物質の挙動と新素材の創製

本河光博 東北大学金属材料研究所 教授

## 1. はじめに

我々のチームは、東北大学金属材料研究所附属強磁場超伝導材料研究センターに設置されている、30T ハイブリッド磁石およびいくつかのヘリウムフリー超伝導磁石を使って以下に示すようにいくつかの基礎研究を行った。またそれに関連する新しい方式の磁石の開発も行った。

磁場効果には、大きく分けて1)磁気浮上効果と2)磁場配向効果がある。即ち

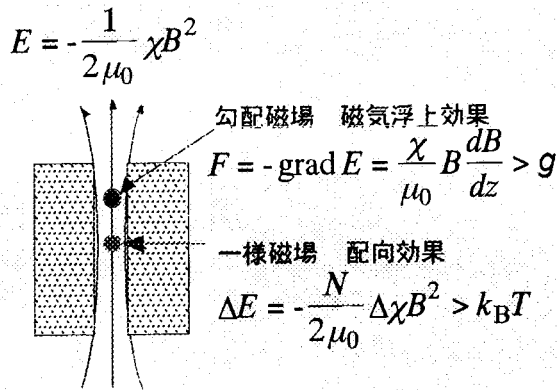


図1のように、試料の位置が磁場中心の場合は一様磁場がかかり配向効果が得られる。一方試料を中心より上方におくと磁場勾配があり、図に示される力が重力を越えた場合その試料は浮上する。しかしそのためにはかなりの強磁場が必要で、我々はハイブリッド磁石を用いてこの研究を行っている。磁場配向効果についてはヘリウムフリー磁石を用いている。以下にその概要を記す。

図1 磁石の中の試料の位置と効果の関係

## 2. ハイブリッド磁石による研究

水の磁気浮上から始まり、磁気浮上状態での水の氷結、塩化アンモニウム単結晶の育成、レーザー加熱によるガラスの熔融、パラフィンの熔融とマランゴニ対流の観測等を行った。さらに最近、蒸発-凝縮プロセスによる微粒子創製を行っている。この方法は、 $\mu\text{m}$ から $\text{nm}$ スケールの粒子を形成できることから、新しいナノ材料開発の一つとして興味深い。蒸発-凝縮プロセスは、薄膜形成や結晶成長と同様に磁場の影響を受けると考えられる。我々は、 $\text{CO}_2$  レーザーによる瞬間的加熱を利用して、蒸発-凝縮プロセスによる $\text{TeO}_2$ 系、 $\text{B}_2\text{O}_3$ 系、 $\text{SiO}_2$ 系およびフッ化物系ガラスの微粒子形成を強磁場中で試み、形成微粒子の挙動観察とガラス微粒子の形状や化学組成などの分析を行った。

## 3. ヘリウムフリー磁石による研究

### 1) 磁場中 CVD による YBCO 膜の組織制御と機能制御

磁場中化学気相法(CVD)により、膜の配向制御や組織制御を行い、多結晶銀基板上に $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ (YBCO)膜を作製した。磁場配向効果によってその集合組織の配向度が向上する他、粒径が磁場の増加に伴って著しく減少することが分かった。

## 2) 生体材料の結晶化に及ぼす磁場の効果

これまでに、10T の均一磁場中でタンパク質閾所を育成すると、結晶の品質が格段に向上することを、鶏卵白リゾチームおよび PCB 分解酵素 BphC について実証してきた。リゾチーム斜方晶系結晶の場合には、モザイク性が平均で 29% 改善し、その結果、回折分解能も  $1.3\text{\AA}$  から  $1.13\text{\AA}$  へと向上した。

## 3) 導電性ポリマーの磁気電解重合と反応制御への応用

次世代のエレクトロニクス材料として多方面での応用が期待されているポリピロールを取り上げ、磁気電解重合法による薄膜合成を試みた。得られた重合膜の微細組織をナノスケールで観察したところ、磁気電解重合膜では 50nm 程度のポリマー粒子が極めて緻密に凝集している様子が観察された。これは磁場による膜の組織制御が膜の特性制御につながることを明確に示した初めて例である。

## 4) 磁場中結晶成長による有機半導体の電子構造の改質

強い電子相関を持つ有機半導体の一つである  $\text{Cs}_2\text{TCNQ}_3$  を対象として、磁場中結晶成長が物性に及ぼす影響を 5 T までのヘリウムフリー磁石を用いて調べた。結晶成長速度は磁場によって低下するが結晶構造と格子定数にはほとんど変化が見られない。しかしおよそ 4 T の閾値以上の磁場によりアクセプター密度が 1 桁近く増大すると共に、光学的小および磁氣的性質に顕著な変化が現れる。

## 5) 磁性薄膜の作製

小型のスパッタ装置を大口径磁石に組み込むことにより、強磁場中で磁性薄膜を作製し、その物性を調べた。Fe-O 系薄膜の実験では、3T 程度の磁場の印加により、スパッタ条件に特別な最適化を施すことなく、マグネタイト ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) 薄膜が容易に得られることが分かった。同様のスパッタ条件で、磁場を印加しない場合には、マグネタイトは全く得られていない。

## 4. 無冷媒 23T ハイブリッド磁石の建設

磁気浮上による無重力状態を利用して新材料を開発するプロセスには、定常強磁場を発生するハイブリッド磁石が極めて有効である。しかし、ハイブリッド磁石を構成している大口径超伝導磁石は大量の液体ヘリウムを必要とし、運転時間も短く限られてしまう問題がある。この問題を解決して強磁場利用の新しいプロセスを飛躍的に発展させるために、ハイブリッド磁石用のコンパクトな無冷媒大口径超伝導磁石を製作した。外層の NbTi コイルはインダクタンスを小さくするためと応力を緩和するために 2 分割されている。最外層は 1.2mm 直径の線材を用いて運転電流 198A とし、その内側に 1.2mm 直径の線材で 145A の運転電流とした。NbTi コイルコイルは中心に 4.59T を発生できる。このバックアップ磁場の内側に CuNb/  $\text{Nb}_3\text{Sn}$  強磁場発用コイルを挿入する。360mm の室温ボアに合計で 8.0T を発生できる冷凍機冷却超伝導磁石となる。現在据え付けを完了し、水冷磁石との組み合わせで磁場中心設定の調整運転を始めたところである。