

Novel Effects in Melt Growth, Sintering and Crystallization under Strong Magnetic Field

強磁場下での溶融凝固・焼結・結晶化に おける新規効果

プロジェクトリーダー 岸 尾 光 二

東京大学 大学院工学系研究科 教授



1. 研究の目的

金属、半導体、絶縁体などのさまざまな結晶性機能材料では、材料の純度や均質性、材料内の結晶微細組織のサイズや配向性が電気的、磁氣的、光学的、熱的、機械的特性に大きな影響を及ぼすことが知られており、材料の作製プロセスが重要視されています。このため、これまでに温度や圧力、機械的応力による制御などの古典的な手法に加えて、微小重力環境などを利用した新規の手法も検討されています。

一方ごく最近、10テスラにものぼる強磁場が比較的容易に利用できるようになり、さまざまな材料製造基本プロセスに試験的に導入された結果、気相、溶液相、融液相における物質移動および流動、結晶粒の配向に対して磁場の印加効果が確実に存在することが明らかになってきました。しかし、この磁場効果はプロセスごとにいろいろな形として現れてしまうため、分子や結晶の磁化率あるいは磁気異方性と相関をもつのは磁場強度なのか？あるいは磁場勾配強度なのか？や、局所的な電流が存在する場合にローレンツ力が作用するのか？など、メカニズムについてほとんど明らかになっていません。したがって、磁場効果を積極的に材料作製プロセスとして導入するには至っていないのが現状です。

本プロジェクトでは、さまざまな金属や無機材料の製造における「磁場」の有効利用を目指して、特に作製の基礎プロセスである溶融凝固や結晶化、焼結などの相変態現象の磁場効果を解明することを目的としています。本研究により、材料本来のもつポテンシャルを十分に引き出すことができるようになれば、金属や半導体、絶縁材料の高品質および高機能化、高温超伝導の機能材料としての現実化など、「強磁場」は未来の社会経済基盤を支える不可欠な材料作製プロセスとしての制御法となることが期待されます。

2. 研究内容

(1) 浮遊帯域法による機能性酸化物単結晶育成 における磁場効果

従来の単結晶の融液成長では、地球上で行なっている限り、溶融帯や固液界面は常に重力の影響に晒されていると考えられており、現在、宇宙空間などの微小重力下で検証されつつありますが、作製プロセスとして一般的ではありません。一方、近年の強磁場分野の発展は、研究室レベルでの強磁場の利用を可能にして、磁気力による磁気アルキメデス浮上効果により擬似的に無重力状態を作り出せるようになりました。本研究では、この浮上効果を浮遊帯域法に適用して、溶融帯における重力の軽減効果は単結晶育成における溶融帯の安定性や固液界面の形状にどのような影響を与えるのかを解明します。また、強磁場は融液中の構成成分を分離させる効果をもっており、溶融帯の成分元素分布に対してどのように影響を与えるのかを明らかにします。最終的に、これらの磁場による制御をおこなっ



図1 10T ヘリウムレス超伝導マグネット中での結晶育成



図2 浮遊帯域法で作製した単結晶試料の解析

て、強磁場を利用した高機能・高品質の酸化物単結晶育成技術を確立します。

(2) 酸化物・金属・合金の凝固プロセスにおける磁場効果

結晶成長・凝固プロセスにおいて、従来の操作パラメータは温度および速度の条件のみです。強磁場は、融液の見かけ粘度の増加と強力な磁気力を発生させることができるので、この効果を操作パラメータとして導入することで組織制御の可能性が広がります。例えば、密度差により生じる浮力のため、従来では組織制御が困難であった2液相分離する合金に、強磁場によるこれらの効果を付加することにより、微細分散した組織形成が可能になると考えられます。また、磁気異方性が存在する材料に適用し、凝固時における結晶方位の配向性を制御することで、異方的な熱電特性をもつ物質に应用することを考えています。この結晶成長・凝固プロセスは広範な材料製造プロセスに用いられているので、強磁場の有用性を示すことにより、酸化物・金属・合金などすべての材料の高機能化や、新機能および材料プロセスの創出に大きな貢献が期待されます。

(3) 強磁場による膜物質の配向制御

非晶質基板上の薄膜は、単結晶基板上のそれとは異なり、エピタキシャル成長が期待できません。しかしながら、結晶性は材料本来の機能の優劣に関わるため、重要な問題となります。そこで、強磁場を導入し、磁場中で導電性非晶質基板およびヘテロ基板上にMOCVD（有機金属化学気相蒸着法）を用いて有機材料や酸化物薄膜を作製し、気相における磁場アシストによる物質輸送の解明と固相の配向制御法を確立します。有機材料の配向により圧電性や光学異方性などの発現が、半導体膜の結晶性向上により半導体レーザーや薄膜トランジスタなどの高機能化が期待され、応用上の自由度が飛躍的に広がります。

(4) マルテンサイト相変態に及ぼす磁場効果

鉄鋼材料の機械的強度は組織によって決まり、現在この組織制御は加工と熱処理の組み合わせで行なわれています。最近、磁場によるマルテンサイト相変態への効果が指摘され、「強磁場」は従来にない新しい材料組織制御法として期待されています。また、合金における形状記憶効果はマルテンサイト変態の形状歪を利用しているので、磁場制御型形状記憶合金を利用した新しい機能性材料としても有望です。本研究では、Fe-Ni-C合金におけるマルテンサイト変態に及ぼす磁場効果を調べ、磁場による組織制御を確立します。また、Fe-Pt合金においても同様の効果を調べ、形状記憶を磁場制御した新機能性材料の開発を目指します。

3. 研究の体制

期 間：1999年8月～2004年3月

構 成：プロジェクトリーダー：岸尾 光二（東京大学大学院工学系研究科・教授）

研究分担者：5名、研究協力者：7名

実施場所：東京大学大学院工学系研究科応用化学専攻 東京都文京区本郷 7-3-1



図3 水の磁気アルキメデス浮上
水の磁化率による磁気力と重力がつりあっている

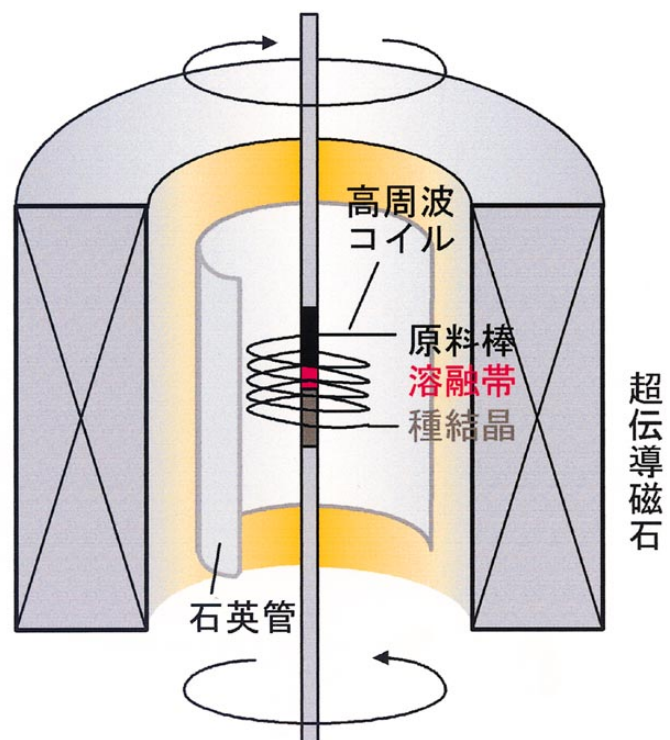


図4 強磁場中での浮遊帯域法による単結晶作製の概念図