



■GA 担当教員 研究等紹介③



九州大学
 大学院総合理工学研究院融合創造理工学部門
 (大学院総合理工学府量子プロセス理工学専攻)
 教授

西田 稔

機能性金属材料の組織解析： 金属組織の中の“ささやかな真実”を求めて

金属組織学は古くは金相学と呼ばれ、手相や人相と同じく表面や内部組織の特徴から金属材料の製造履歴、熱履歴、さらには物性との関係を理解し、それを基に組織制御を通して特性の向上や新機能の創出を図る学問分野です。総合理工学研究院において金属・合金の組織・構造を対象とする研究は、融合創造理工学部門固体材料物性学講座の構造材料物性学分野(中島・光原研究室)、ナノ構造解析学分野(波多研究室)、結晶物性工学分野(西田・板倉研究室)で行われています。すでにこの担当教員紹介において、波多教授が組織・構造解析の強力な手段となる電子顕微鏡について、光原准教授が構造用金属材料について寄稿されています。私たちの研究室では強度以外の特性を主たる機能とする形状記憶・超弾性合金、強磁性合金などの機能性金属材料の組織・構造と特性の関係を調べています。本稿では最近の研究成果を2つ紹介します。

形状記憶・超弾性合金は、冷却・加熱や応力負荷・除荷などにより形状記憶効果や超弾性効果を発現し、眼鏡のフレーム等の日用品から歯列矯正ワイヤーやステント等の医療器具に至るまで様々な用途で利用されています。機能発現の素過程は熱弾性マルテンサイト(M)変態と、M変態によって形成される自己調整構造の外部応力による再配列です。自己調整構造とは、晶癖面バリエーションと呼ばれる構造は同じだが方位(向き)の異なる結晶同士が互いの変態ひずみを効率的に緩和できるように結合しあって構築される組織であり、それぞれの合金に特有な原子レベルから結晶粒径程度のスケールにわたる階層構造を持っています。私たちが研究している形状記憶合金はほぼ等量のチタン(Ti)とニッケル(Ni)からなるTi-Ni合金で、冷却に伴い高温相(B2構造)からM相(単斜晶)に変態します。この合金は1960年代に発見されましたが、形状記憶合金の素顔ともいえる自己調整構造は50年以上不明なままでした。この問題に対して私たちは図1に示す(a)、(b) 走査電子顕微鏡、(c) 透過電子顕微鏡、(d) 走査透過電子顕微鏡を駆使した階層的顕微技術と結晶学的理論解析によって、自己調整構造が上述した変態ひずみを緩和する最も理想的な形であることを突き止めました[1]。この形は双対半正六角形と呼ばれており、辺の長さは一定で内角はそれらの和が240°となる2種類で内接円だけを持っています。私たちが知る限り、金属材料においてこのような結晶の配列が報告された例はありません。

磁性体(磁力を持ちうる物質の総称)はモーター、ハードディスク、変圧器など様々な機器に利用される、工学的に重要な材料です。一

般的に、磁性体は自分自身のエネルギーを下げるために「磁区」という、いわば小さな磁石に分割されています。磁性体の研究では、磁区の構造を詳しく調べるのが極めて重要です。身近な装置である走査電子顕微鏡(SEM)を使って(電子が磁性体から受けるローレンツ力を利用して)簡便に磁区構造を観察できることは以前から知られていましたが、原理的に磁区構造の一部(磁気情報の限られた成分)のみしか可視化できないなどの理由から、磁気イメージングの主要な手段には至りませんでした。私たちは最近、従来のSEMで利用していたものとは形状が異なる「環状電子検出器」を用いて、ローレンツ力で偏向された電子を効率よく収集することで、試料表面に現れる磁区構造の全貌を、ごく簡単な操作・観察で明らかにできることを示しました[2]。図2は強磁性Co-Pt合金の表面を観察したSEM像です。(a)-(c)はそれぞれ異なる電子検出器で取得しました。(a)が今回提案した手法で撮影した磁区構造を示す像です。興味深い迷路状の構造が広い範囲にわたって観察されています。(b)に見られるコントラストは結晶方位の違いを示しています。(c)は表面形状に対応したコントラストを示しています。これらから明らかなように、本手法では磁区構造全体を一度に可視化でき、さらに表面形状などの情報ともよく切り分けられた像が得られることから、磁性体表面の磁区構造を様々な組織因子(形態、結晶方位、化学組成など)と関連付けて迅速に評価できる手法として、磁石材料や磁気記録媒体等に関わる学術・工業分野への展開が期待されます。この成果はGA1期生の赤嶺大志君の研究によるものです。

以上のように、金属材料の組織・構造の中にはその材料が示す特性や機能を反映した素顔を観ることができます。私たちの研究室では観察者のみが体験できる“ささやかな真実”の発見を通して、新たな機能性金属材料の開発に取り組んでいます。

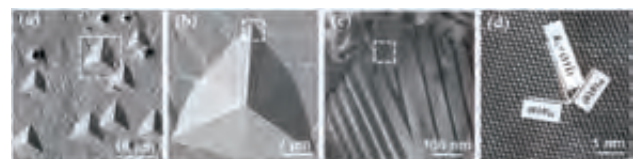


図1. Ti-Ni形状記憶合金M相の双対半正六角形状自己調整構造の階層的顕微解析 (a)、(b) 走査電子顕微鏡像 (b) 透過電子顕微鏡像 (c) 高分解能走査透過電子顕微鏡像



図2. 異なる電子検出器で取得したCo-Pt強磁性合金の (a) 迷路状磁区構造を示すSEM像 (b) 結晶方位の違いを示すSEM像 (c) 表面形状を示すSEM像

[1] M. Nishida, T. Nishiura, H. Kawano, T. Inamura, Philos. Mag., Vol. 92, pp. 2215-2233 (2012).

[2] H. Akamine, S. Okumura, S. Farjami, Y. Murakami, M. Nishida, Scientific Reports, Vol. 6, 37265:1-6 (2016)