

メカニカルアロイング法による新規スキルミオン物質の創製

Synthesis of Novel Skyrmion Host Materials by Mechanical Alloying

H30助自47

代表研究者 肖 英 紀 秋田大学 大学院理工学研究科 講師

Yeong-Gi So

Lecturer, Graduate School of Engineering Science, Akita University

Magnetic skyrmions are promising for use in future data storage devices because of their topological stability at nanometer-scale dimensions. Transition-metal monogermanides with a B20-type chiral structure were typical examples of chiral magnets that host stable magnetic skyrmions. Although skyrmion-host B20-type alloys have been intensively studied, the synthesis process have so far been limited to a high-pressure and high-temperature synthesis. Mechanical alloying is one of materials processing techniques for the formation of several alloys and compounds that are difficult or impossible to be produced by a conventional melting process. In this study, we applied mechanical alloying to synthesize B20-type transition-metal monogermanides, and successfully obtained several binary and ternary B20-type alloys without a high-pressure synthesis.

研究目的

スキルミオンと呼ばれるナノスケール磁気渦構造を1ビットとした次世代磁気記録デバイスの可能性が示唆されており、実験・理論両面から急速に研究が進展している。スキルミオンは、反転対称性を破った結晶物質や薄膜系で続々見出されており、さらに多くの物質系でスキルミオンが形成する可能性が高まっている。現在、最も多く研究されている代表的なスキルミオン物質は、らせん磁性を示すB20型合金であるが、ほとんどのB20型合金の合成には高压合成法が必要であり、元素選択が極めて限定される。そこで本研究は、より簡便に、かつ幅広い物質選択を可能にする合成手法として、メカニカルアロイング法をスキルミオン物質探索に応用することを目的とした。これにより、従来合成では困難であった新規合金におけるスキルミオン物質の創製が見込まれ、B20

合金におけるスキルミオン形成に関する物質依存性を体系的に明らかにする土台を構築する。さらに、メカニカルアロイング法による合成では、得られる合金は一般的に微細結晶粒となる。このことを活用すれば、合金中に簡便にナノ空間を形成し、ナノ空間におけるスキルミオンの性質を明らかにすることが可能となる。そのため、メカニカルアロイング法で得られた合金に適宜熱処理を施すことにより、安定性および結晶性を評価することも目的とした。

概要

近年、反転対称をもたない結晶構造をもつ様々な磁性体において、磁気スキルミオンと呼ばれるナノスケールの磁気渦構造が見出され、このナノ磁気構造1つを超低電流密度で駆動できることから、スキルミオン1つを1ビットとみなした低消費電力かつ高密度な次世代磁気記録デバイスの応用が検討されている。現在最も

多く研究されているスキルミオン発現物質はB20型構造をもつFeGe等の遷移金属ゲルマニウム化合物であるが、ほとんどの場合これらの合成には高圧・高温条件を必要とする。スキルミオン形成に関する物質依存性を体系的に理解するためには、より簡便かつ系統的な物質探索可能な新たな合成プロセスが求められる。そこで本研究では、ボールミルを用いたメカニカルアロイング法をスキルミオン物質合成に応用することを目的とした。メカニカルアロイング法は、ボールミル装置内でボールと共に原料同士が回転・衝突・反応を高速で繰り返すことにより合金化する比較的簡便な手法であり、通常合成では現れない非平衡相や新規物質の創製が期待できる。したがって、高圧合成を必要としないB20合金の合成が期待できるほか、従来B20構造に固溶しない元素の導入やB20相の組成幅が広がることが見込まれる。我々は先行研究によって、アーク溶解によって作製した合金粉末を出発点としたメカニカルミリングによってB20相が得られることを確認している。今回は、より簡便に、単元素原料を用いたメカニカルアロイングによって、ボールミル中で合金化およびB20相形成を同時に達成することを目的とした。

まず高圧合成でも得られている典型的な2元系B20-TMGe (TM=Cr, Mn, FeおよびCo) 合金の作製条件(ボールミル回転速度、回転時間)を検討し、B20相が得られる条件を調べた。その結果、合成条件に依存してB20相の形成が確認でき、いずれのTMの場合においても、高圧合成を経ずともボールミルによって単相性の高いB20相が得られることを確認した。また、種々の温度における熱処理実験により、得られた合金の熱的安定性および結晶子サイズを評価した。一般に、メカニカルアロイング法により作製した合金は微細結晶粒となるが、熱

処理によってB20相の結晶性を改善でき、結晶子サイズを制御できることが示された。

2元系の結果に基づいて、3元系合金におけるB20型合金の作製を試みた。ここでは、B20型FeGeとMnGeの混晶である $Mn_xFe_{1-x}Ge$ 合金およびFeGeとCrGeの混晶である $Cr_xFe_{1-x}Ge$ 合金について検討した。これらの合金では、全てのx組成においてB20相の形成を確認でき、3元系に対してもメカニカルアロイングの有効性が示された。格子定数が置換元素量に依存して系統的に変化していることから、仕込み組成通りに元素置換した一連の試料作製に成功した。

同手法を用いて、今後B20型合金以外にも、通常合成では現れない新規なスキルミオン物質の探索に応用可能であると考えられる。幅広い元素置換、組成制御が可能となれば、スキルミオン形成の物質依存性がより詳細に明らかになることが期待される。

— 以下割愛 —