



Title	秩序型ラーベス相構造を利用した超伝導物質の開発
Author(s)	工藤, 一貴
Citation	大阪大学低温センターだより. 2021, 171, p. 15-17
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/81812
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

秩序型ラーベス相構造を利用した超伝導物質の開発

理学研究科 工藤 一貴

Email: kudo@phys.sci.osaka-u.ac.jp

2020年4月1日に着任いたしました。研究テーマは超伝導体を中心とした物質の開発です。研究に欠かせない液体ヘリウムと液体窒素を安定して供給してくださる低温センターのスタッフの皆様に、御礼申し上げます。

本稿では、最近興味を持って進めているラーベス相化合物の超伝導体開発について紹介したいと思います。一般式 AB_2 で表されるラーベス相は古くから研究されており、たくさんの結晶構造と化合物が知られています[1,2,3]。代表的な構造はC14、C15、C36型であり、それぞれ、六方晶 $MgZn_2$ 型 ($P6_3/mmc$, D_{6h}^4 , No. 194)、立方晶 $MgCu_2$ 型 ($Fd\bar{3}m$, O_h^7 , No. 227)、六方晶 $MgNi_2$ 型 ($P6_3/mmc$, D_{6h}^4 , No. 194)に対応しています。基本的な構造は $MgZn_2$ 型と $MgCu_2$ 型です。 $MgZn_2$ 型では、 A が六方晶ダイヤモンドネットワークを形成し、 B_4 四面体が c 軸に沿って頂点と面を交互に共有した構造を取ります。一方、 $MgCu_2$ 型では、 A が立方晶ダイヤモンドネットワークを形成し、 B_4 四面体が全ての頂点を共有してパイクロアネットワークを形成しています。 $MgNi_2$ 型は、 $MgZn_2$ 型と $MgCu_2$ 型を組み合わせた構造です。ある A と B が与えられた時に安定する構造を予想することは簡単ではありません。これまで、原子半径、電気陰性度、価電子数等に基づいた議論が行われていますが、完全には説明できていません[2,3]。

三元系のラーベス相では、結晶構造と化合物の種類がもっと豊富になります[2,3]。単に構成元素の数が1つ増えるだけではありません。true ternary Laves相と呼ばれる隠れたラーベス相が出現します。その相の化合物に対応する二元系のラーベス相化合物は存在しません。例えば、 $Ta(Ni,Al)_2$ と $Nb(Ni,Al)_2$ はC14型の構造を取りますが、二元系ラーベス相の $TaNi_2$ 、 $TaAl_2$ 、 $NbNi_2$ 、 $NbAl_2$ は存在しません。さらに、三元系のラーベス相では様々な秩序型の相が出現します。例えば、 $MgCu_2$ 型の A サイトを2種類の元素が規則的に占有すると、C15b型 $MgSnCu_4$ ($F\bar{4}3m$, T_d^2 , No. 216)の構造が派生します。 B サイトの秩序占有も可能であり、 Cd_4Cu_7As ($Pnnm$, D_{2h}^{12} , No. 58)は、 $MgCu_2$ 型の B サイトが $Cu_{7/8}As_{1/8}$ のように秩序占有された化合物です。さらに、 $MgCu_2$ 型と $MgZn_2$ 型の B サイトを遷移金属元素(TM)と典型元素(X)が $TM_{3/4}X_{1/4}$ のように秩序占有すると、 Mg_2Ni_3Si 、 Ca_2Pd_3Ge ($R\bar{3}m$, D_{3d}^5 , No. 166)、 Mg_2Cu_3Si ($P6_3/mmc$, D_{6h}^4 , No. 194)の構造が派生します。これらの構造には、 TM のブリッジングカゴメネットワークと X の三角形ネットワークが含まれています。

このように様々な結晶構造を示すラーベス相は、物質開発の魅力的な舞台となります。私たちは、三元系のラーベス相化合物が有する構造の高い自由度に着目し、新物質の開発を行いました。その結果、図1に示すように、秩序型ラーベス相 Li_2IrSi_3 ($P31c$, C_{3v} , No. 159) [1]、 Mg_2Ir_3Si ($P6_3/mmc$,

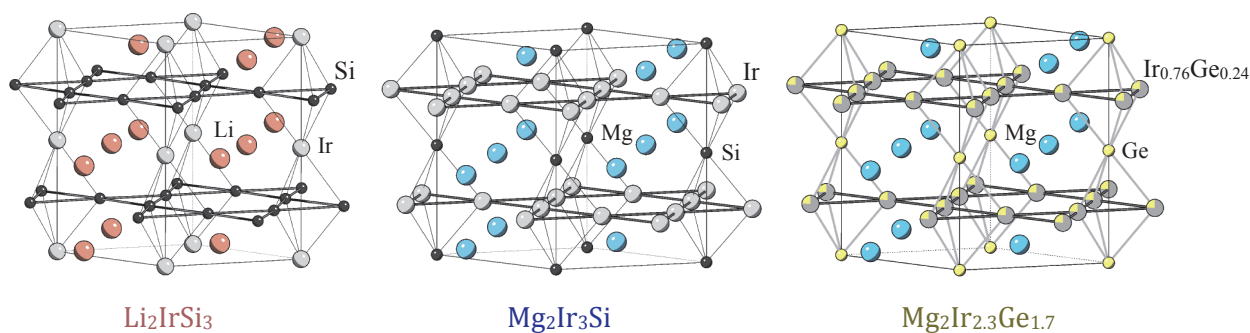


図1. 三元系秩序型ラーベス相 Li_2IrSi_3 ($P31c$, C_{3v}^4 , No. 159) [1], $\text{Mg}_2\text{Ir}_3\text{Si}$ ($P6_3/mmc$, D_{6h}^4 , No. 194) [2], 三元系部分秩序型ラーベス相 $\text{Mg}_2\text{Ir}_{2.3}\text{Ge}_{1.7}$ ($P6_3/mmc$, D_{6h}^4 , No. 194) [3]の結晶構造.

D_{6h}^4 , No. 194) [2]、部分秩序型ラーベス相 $\text{Mg}_2\text{Ir}_{2.3}\text{Ge}_{1.7}$ ($P6_3/mmc$, D_{6h}^4 , No. 194) [3]を発見しました。それぞれ、転移温度3.8 K、7 K、5.3 Kの超伝導を示します。

秩序型ラーベス相 Li_2IrSi_3 [1]はtrue ternary Laves相の化合物です。対応する二元系ラーベス相 LiIr_2 と LiSi_2 は存在しません。この化合物では、IrとSiがBサイトを $\text{Ir}_{1/4}\text{Si}_{3/4}$ のように秩序占有し、それぞれ、三角形ネットワークとブリージングカゴメネットワークを形成しています。一方、 $\text{Mg}_2\text{Ir}_3\text{Si}$ [2]では、Bサイトが $\text{Ir}_{3/4}\text{Si}_{1/4}$ のように秩序占有され、IrのブリージングカゴメネットワークとSiの三角形ネットワークが出来ています。非常に興味深いことに、LiをMgに変えたらIrとSiのサイトが入れ替わり、それに伴って T_c が3.8 Kから7 Kに上昇しました。Bサイトの秩序配列を制御するためのパラメータを明らかにすることができれば、今後の物性開拓に役立つ情報になるかもしれません。

Li_2IrSi_3 と $\text{Mg}_2\text{Ir}_3\text{Si}$ の超伝導の詳細を明らかにするための研究は、きっと面白いものなるはずです。なぜなら、カゴメネットワークでは、多様な興味深い電子状態の発現が予測されているからです [3]。例えば、カイラル d 波や f 波の超伝導などが理論的に予測されています。それらを実証するには、様々な実験を行い多面的・多角的に検討する必要がありますが、1つの有効なアプローチは不純物ドーピングによる乱れの効果を調べることです。部分秩序型 $\text{Mg}_2\text{Ir}_{2.3}\text{Ge}_{1.7}$ [3]の特徴は、まさに、その目的に合致しています。なぜなら、その化合物では、三角形ネットワークのサイトが全てGeで占められている一方で、カゴメネットワークを形成するIrの約4分の1がGeに置き換わっているからです。 $\text{Mg}_2(\text{Ir}_{0.76}\text{Ge}_{0.24})_3\text{Ge}$ と書くのが分かりやすいと思います。電気抵抗測定の結果、 $\text{Mg}_2\text{Ir}_{2.3}\text{Ge}_{1.7}$ の残留抵抗比は $\text{Mg}_2\text{Ir}_3\text{Si}$ よりも大きいことが分かりました。この結果は、GeがドーピングされたIrカゴメネットワークがドーピングされていないものよりも乱れていることを示唆します。今後、さらなる物質開発を進めながら、3つのラーベス相化合物の超伝導物性を系統的に調べていくつもりです。

この研究は、岡山大学の野原実、柊輝、本田寿明、藤村一徳、出井宏幸の各氏との共同研究によるものです。

参考文献

- [1] S. Pyon, K. Kudo, J. Matsumura, H. Ishii, G. Matsuo, M. Nohara, H. Hojo, K. Oka, M. Azuma, V. O. Garlea, K. Kodama, and S. Shamoto, J. Phys. Soc. Jpn. **83**, 093706 (2014).
- [2] K. Kudo, H. Hiiragi, T. Honda, K. Fujimura, H. Idei, and M. Nohara, J. Phys. Soc. Jpn. **89**, 013701 (2020).
- [3] K. Kudo, T. Honda, H. Hiiragi, H. Ota, and M. Nohara, J. Phys. Soc. Jpn. **89**, 123701 (2020).