

量子臨界性物質 $\text{Nb}_{1-x}\text{Fe}_{2+x}$ の単結晶作製

Single crystal growth of quantum critical material $\text{Nb}_{1-x}\text{Fe}_{2+x}$

○鈴木敦智¹, 福島祥紘², 石井博隆², 武井優樹², 渡辺忠孝³*T. Suzuki¹, Y. Fukushima², H. Ishii², Y. Takei², T. Watanabe³

Abstract: NbFe_2 has C14-type Laves phase crystal structure, which consists of stacked Kagome layers of Fe sites. While NbFe_2 exhibits a spin density wave (SDW) transition at $T \sim 10$ K, $\text{Nb}_{1-x}\text{Fe}_{2+x}$ with $x > 0.01$ and $x < -0.02$ exhibits a ferromagnetic transition. In addition, for $\text{Nb}_{1-x}\text{Fe}_{2+x}$, emergence of ferromagnetic quantum criticality at $x_c \sim -0.015$ is suggested. We synthesized poly-crystalline and single crystalline NbFe_2 and evaluated the structural, magnetic, and electrical properties.

1. はじめに

Laves 化合物は AB_2 の組成で形成される金属間化合物である. この物質群の磁性研究の歴史は古く, 1950 年代から行われている. これまでに希土類金属と遷移金属からなる化合物, および遷移元素同士からなる化合物について研究が行われてきた. Laves 相 AB_2 は A サイトと B サイトを占める原子の半径比が 1.225:1 に近い場合に形成されるが, C14 型(MgZn₂ 型), C15 型(MgCu₂ 型), C36 型(MgNi₂ 型)の 3 種類に分類され, それぞれ六方晶, 立方晶, 二重六方晶の結晶構造を形成する.

C14 型 Laves 化合物 NbFe_2 は, B サイトの Fe がカゴメ格子を形成した結晶構造を有する(Figure 1). カゴメ格子をはじめとする三角格子を基調とした結晶構造を有する磁性体は, 幾何学的フラストレーションに由来する強いスピン揺らぎが生じるため, 新奇かつ多彩な量子現象と基底状態が創出する.

NbFe_2 は, $T \sim 10$ K でスピン密度波(SDW)転移を示すことが報告されている. しかし, NbFe_2 の Fe サイトの比が 1 % 以上多くなる, または Nb サイトの比が 2 % 多くなると強磁性転移を示すとの報告がなされており, 磁性が不定比に敏感であることが示唆されている. 最近, NbFe_2 に不定比を導入した $\text{Nb}_{1-x}\text{Fe}_{2+x}$ において, 不定比量 x をチューニングパラメータとした強磁性量子臨界性が $x_c \sim -0.015$ で発現するとの報告がなされており, 注目を集めている[1-8]. 今回, 我々は NbFe_2 の単結晶作製を試みたので報告する.

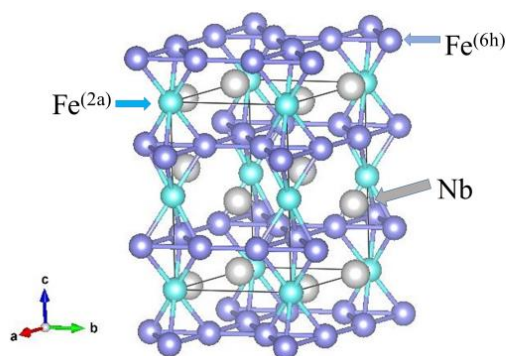


Figure 1. Crystal structure of C14-type Laves compound NbFe_2

2. 実験方法

NbFe_2 の多結晶試料は, アルゴンガス雰囲気中におけるアーク溶解法により作製した. 原材料には Nb インゴット(99.9%), Fe パウダー(99.9%)を使用した. 化学量論比に従い Nb インゴットの質量を基に Fe パウダーを秤量し, 5 t で 30 分圧粉形成を行った. 次に Nb インゴットと Fe 圧粉体をアーク溶解し凝固させた. また, 作製した多結晶試料を用いてフローティングゾーン法により単結晶作製を試みた.

作製した試料は, 粉末 X 線回折(XRD)測定により結晶構造を評価し, 電気抵抗率および磁化率の温度依存性の測定により, 物性を評価した.

3. 実験結果

3-1. 粉末 X 回折測定

Figure 2 に作製した NbFe₂ の多結晶の粉末 X 線回折測定の結果を示す. シミュレーションと比較すると純物のないほぼ単相の NbFe₂ が作製されていることが分かる.

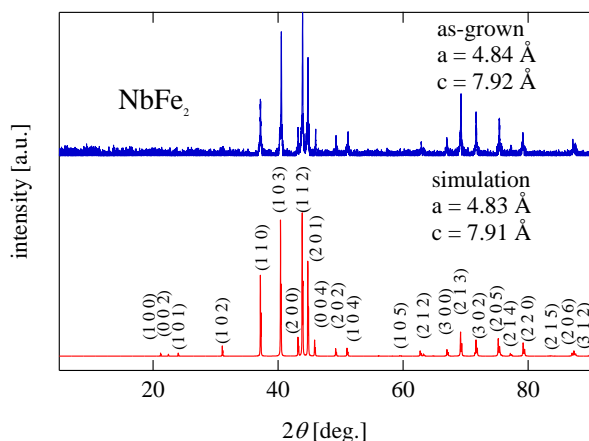


Figure 2. Powder XRD patterns of poly-crystalline NbFe₂

3-2. 磁化率測定

Figure 3 に NbFe₂ の多結晶の $H = 100$ Oe での磁化率の温度依存性を示す. $T \sim 75$ K で磁気転移が見られた.

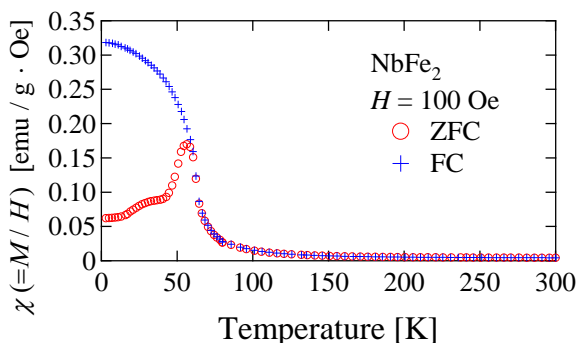


Figure 3. Temperature dependence of magnetic susceptibilities in poly-crystalline NbFe₂ with $H = 100$ Oe

4. まとめ

C14 型 Laves 化合物 NbFe₂ の多結晶作製に成功した. 作製した多結晶試料について, 磁化率の温度依存性を測定したところ, $T \sim 75$ K で磁気転移が見られた.

当日の発表では, NbFe₂ の単結晶作製とその物性評価について報告し, 多結晶と単結晶の物性を比較する予定である.

5. 参考文献

- [1] M. Brando, W. J. Duncan, D. Moroni-Klementowicz, C. Albrecht, D. Gruner, R. Ballou, and F. M. Grosche, Phys. Rev. Lett. **101**, 026401 (2008).
- [2] D. Moroni-Klementowicz, M. Brando, C. Albrecht, W. J. Duncan, and F. M. Grosche, Phys. Rev. B **79**, 224410 (2009).
- [3] A. Subedi and David J. Singh, Phys. Rev. B **81**, 024422 (2010).
- [4] D. A. Tompsett, R. J. Needs, F. M. Grosche, and G. G. Lonzarich, Phys. Rev. B **84**, 085133 (2011).
- [5] A. Alam and D. D. Johnson, Phys. Rev. Lett. **107**, 206401 (2011).
- [6] B. P. Neal, E. R. Ylvisaker, and W. E. Pickett, Phys. Rev. B **84**, 085133 (2011).
- [7] S. Friedemann, M. Brando, W. J. Duncan, A. Neubauer, C. Pfleiderer, and F. M. Grosche, Phys. Rev. B **87**, 024410 (2013).
- [8] D. Rauch, M. Kraken, F. J. Litterst, S. Sullow, H. Luetkens, M. Brando, T. Forster, J. Sichelschmidt, A. Neubauer, C. Pfleiderer, W. J. Duncan, and F. M. Grosche, Phys. Rev. B **91**, 174404 (2015).
- [9] S. Friedemann, W. J. Duncan, M. Hirschberger, T. W. Bauer, R. Küchler, A. Neubauer, M. Brando, C. Pfleiderer, and F. M. Grosche, Nature Physics **14**, 62 (2018).