

# トポロジカルノーダルライン半金属 NaAlSi の奇妙な電子状態と超伝導性

## [1] 要旨

7 K の転移温度を示す超伝導体である金属間化合物 NaAlSi は、最近の電子状態計算より、クリーンなトポロジカルノーダルライン半金属であることが指摘され、超伝導との関連が注目されている。今回、NaAlSi の単結晶がフラックス法により作製され、それらを用いた物性評価が行われた。その結果、NaAlSi には sp 電子系にも関わらず伝導電子に強い電子相関が働いていることや、異方的な超伝導ギャップが存在することが示された。これらのことから、NaAlSi の超伝導は単純なフォノンでなく、その特殊な電子構造に由来すると考えられる。

## [2] 本文

トポロジカル物質は、構成電子の波動関数の特殊な対称性により、3次元物質では表面に、2次元物質ではエッジに特異な電子やスピンの伝導状態が発現するため、従来の金属や絶縁体の概念を超える物質群として注目され、そのユニークな物性が理論・実験の両面から盛んに研究されている。

金属間化合物である NaAlSi は 1979 年にドイツのケルン大学のグループにより合成され、Al と Si で形成される 2次元層が Na を挟んで積層する結晶構造 (図 1 左) が明らかにされた。その後、2007 年に青山学院大学の研究グループによって金属間化合物としては比較的高い 7 K の転移温度を示す sp 電子系超伝導体であることが報告されている。さらに、2019 年には、複数の研究グループの理論計算により、NaAlSi はトポロジカルノーダルライン半金属に分類される物質であることが指摘されていた。

NaAlSi は大気中で不安定なことや、大きな単結晶を得ることができていなかったことから、これまでの研究は多結晶を用いた磁化や電気抵抗率などに関する測定に限られ、超伝導性の理解に欠かせない単結晶を用いた比熱や、伝導性の異方性を明らかにするような物性測定は行われていなかった。

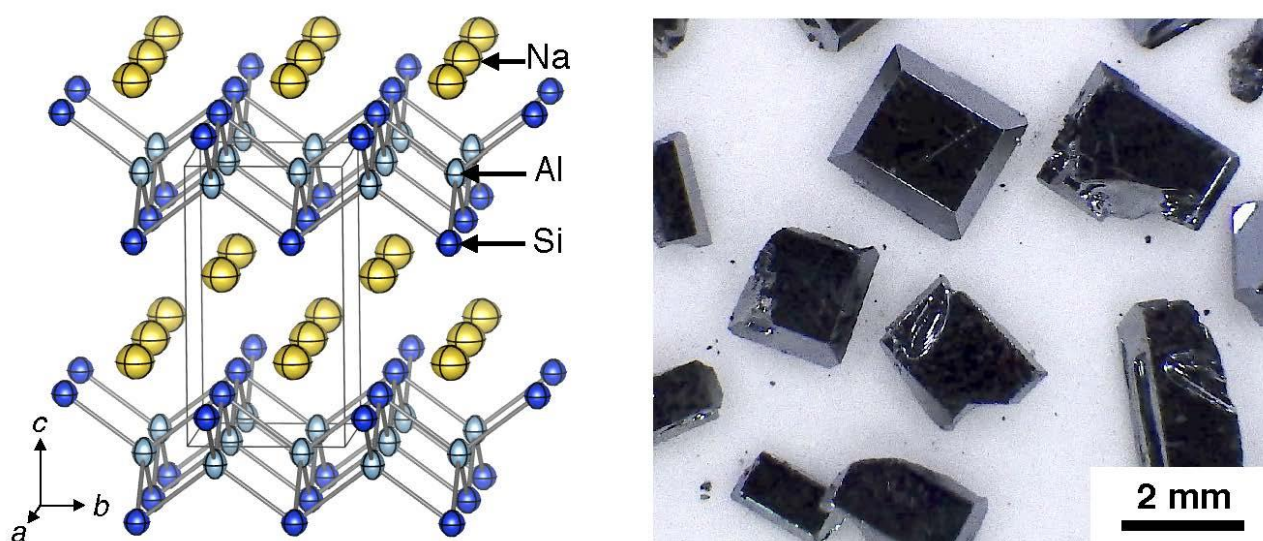


図 1. NaAlSi の結晶構造 (左) とフラックス法で育成された単結晶 (右)

東北大学多元物質科学研究所と東京大学物性研究所の研究グループは、Na-Ga フラックスを用い

ることで NaAlSi の比較的大きな単結晶を育成することに成功し (図 1 右)、これらを用いた電気抵抗率、磁化、および比熱の測定より NaAlSi の超伝導性と常伝導性を詳細に調べた。その結果、NaAlSi の常伝導状態のウィルソン比は 2.0 であり、低温での電気抵抗率はフェルミ液体的な振る舞いを示すことが明らかになった。これらより、NaAlSi は sp 電子系であるにもかかわらず、比較的強い電子相関が重要な役割を果たす特殊な状態にあることが分かった。電子相関の起源は、フェルミ準位近傍にある Si の  $p_x$ 、 $p_y$  軌道からなる直交した鞍馬型のバンドに由来する可能性を指摘している。さらに、超伝導状態の比熱の温度依存性から、異方的なギャップを持つ超伝導体であることも明らかにされた。この成果は、日本物理学会が発行する英文誌 *Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ)* の 2021 年 3 月号に掲載された。

今回の研究成果は、超伝導性を示すトポロジカルノーダルライン半金属である NaAlSi の興味深い物性の一端を明らかにしたものである。トポロジカル性に起因する表面状態の存在や、そこで期待されるマヨラナ粒子の可能性などは未だ明らかにはされておらず、今後の研究の展開が期待される。NaAlSi の単結晶を用いた種々の測定が多面的に行われることで、トポロジカルノーダルライン半金属の電子状態や、超伝導性を含めた伝導現象の解明がさらに進むものと思われる。

原論文(2月19日公開済)

Superconductivity in the Topological Nodal-line Semimetal NaAlSi

T. Yamada, D. Hirai, H. Yamane, and Z. Hiroi, *J. Phys. Soc. Jpn.* **90**, 034710 (2021).

<情報提供 山田 高広 (東北大学多元物質科学研究所)  
廣井 善二 (東京大学物性研究所 教授) >