

かご状物質のフォノンダイナミクス

Phonon dynamics of cage compounds

李 哲虎¹⁾、吉澤 英樹²⁾、木方 邦宏¹⁾、金子 耕士³⁾

Chul-Ho Lee¹⁾, Hideki Yoshizawa²⁾, Kunihiro Kihou¹⁾, Kouji Kaneko³⁾

¹⁾産総研、²⁾東大物性研、³⁾原子力機構

我々は $\text{La}_3\text{Pd}_{20}\text{Ge}_6$ のゲストモードを中性子散乱により測定した。その結果、大きな分散を持つ事が明らかとなった。本結果はゲスト原子間にキャリアを介した相互作用が働いていることを示唆している。

キーワード：フォノン分散、ラットリング、かご状物質

1. 目的

近年、ラットリングと呼ばれる大きなかご型格子の中に充填されたゲスト原子の振動モードが局所電荷揺らぎを誘起し、様々な異常物性の原因となっているのではと考えられ注目を集めている。例えば、 β -パイロクロア KOs_2O_6 ではラットリングが電子-格子間相互作用を介して超伝導の発現に関与している可能性が指摘されており、精力的に研究されている。

これまでの研究によって、ラットリング振動が大振幅でかつ非調和的であること等が明らかとなっており、ラットリングの振動状態に関しては少しずつ大枠が見えて来た。しかし、電子系とのカップリングに関する知見は今のところほとんど得られていない。そこで、本研究では中性子散乱を用いてかご状物質のラットリング振動を調べ、ラットリングモードと電子系のカップリングを明らかにする。

2. 方法

単結晶を用いた中性子散乱実験を行い、かご状物質のラットリングモードを観測する。ラットリングモードの分散関係及びエネルギーの温度変化を調べ、電子-格子相互作用の痕跡を探索する。得られたフォノン分散はボルン・フォン・カルマン法によって解析し、原子間結合力を見積る。これらにより、電子-格子相互作用に由来する系統的な変化を明らかにする。測定する試料は $\text{La}_3\text{Pd}_{20}\text{Ge}_6$ の単結晶である。測定は主に冷中性子源を用いて、エネルギー分解能の高い実験を行なう。

3. 研究成果

$\text{La}_3\text{Pd}_{20}\text{Ge}_6$ のフォノンを測定したところ、ガンマ点近傍にて $E=1\text{meV}$ の光学フォノンを観測した。これは La 原子が大きく振動するゲストモードに対応する。波数が大きくなるとこのゲストモードのエネルギーは高くなり、大きな分散が見られた。他のかご状物質のゲストモードは全て平らな分散を示すのに対して、本物質のゲストモードは異質である。ボルン・フォン・カルマン法による解析から、La-La 間に直接の原子間力が働いていることが明らかとなった。

ゲストモードのエネルギーの温度変化を調べたところ、特定の波数において温度の低下とともにハード化することが確認された。超音波実験によって観測されたハード化と似ており、関連性に興味を持たれる。

4. 結論・考察

我々は $\text{La}_3\text{Pd}_{20}\text{Ge}_6$ のゲストモードに大きな分散が存在することを明らかにした。これは La-La 原子間に直接の相互作用が存在することを意味する。La-La 間は離れており、通常は遮蔽が十分効いていると考えるのが自然である。本結果はキャリアを介してゲスト原子間に相互作用が働いていることを示唆している。