

Sm_3Se_4 と SmB_6 の 弾性的性質

東北大・科研

後藤輝孝, 田巻 明, 藤村忠雄

東北大・理

国井 暁, 笠谷光男, 鈴木 孝, 糟谷忠雄

固体の弾性的性質を知るには, 超音波パルスを固体中に入射し, その音速から弾性定数を求める。また吸収係数からは動的応答が得られる。超音波によって固体内に誘起される弾性歪 $\epsilon_{ij} = (\partial u_i / \partial x_j + \partial u_j / \partial x_i) / 2$ は Γ_1^+ , Γ_2^+ , Γ_5^+ の対称性を有する。 ϵ_{ij} は 2 階テンソル量であり, 電気的四重極モーメントの外場になっている。したがって, 超音波によって測定される弾性定数と吸収係数は, 四重極モーメントに対する応答関数として理解できる。弾性歪 ϵ_{ij} と希土類化合物の 4f 電子との相互作用は, 四重極演算子 $\hat{O}_{ij}$ を導入することにより, $\mathcal{H}_{me} = -\sum_{ij} g_{ij} \hat{O}_{ij} \epsilon_{ij}$, と書ける。したがって, 弾性定数の温度変化は, $C_{ij}(T) = C_{ij}^0 - N g_{ij}^2 \chi_{ij}^{(2)}(T)$, となる。ここに, $\chi_{ij}^{(2)}(T)$ は歪応答関数で, $-g_{ij}^2 \chi_{ij}^{(2)}(T) = \langle \partial^2 E / \partial \epsilon_{ij}^2 \rangle - \beta \{ \langle (\partial E / \partial \epsilon_{ij})^2 \rangle - \langle \partial E / \partial \epsilon_{ij} \rangle^2 \}$ と定義できる¹⁾。このように, 希土類化合物の弾性定数の測定は, 4f 電子の結晶場による有効な実験手段となっている。筆者等はこの立場で CeB_6 ²⁾, PrB_6 などの研究をおこなっている。価数揺動を示す物質においては, 価数揺動によって生じる四重極モーメントの揺ぎを超音波によって見る事が出来るはずである。ここでは, Sm_3Se_4 , SmB_6 の実験結果について考える。

Sm_3Se_4 では, Sm^{2+} と Sm^{3+} が 1:2 の割合で結晶中の等価な位置を占めており, 価数揺動状態にある。交流抵抗の測定によれば, thermal hopping および tunneling の 2 つの機構により価数揺動が起きていると考えられる³⁾。また Mössbauer の実験によると, Thermal hopping による熱的価数揺動時間は, $\tau = \tau_0 e^{\Delta E / kT}$, のような activation 型の温度変化を示している。今回, 我々はこの熱的価数揺動に起因する超音波分散の観測に成功した。Fig.1 には, Γ_3^+ の対称性をもつ $(C_{11} - C_{12})/2$ モードの弾性定数および吸収係数の分散を示した。 Γ_5^+ の C_{44} モードにも同様な分散が見られた。この結果は, Debye 型の分散式,

$$\frac{1}{C(\omega)} - \frac{1}{C(0)} = \left[\frac{1}{C(0)} - \frac{1}{C(\infty)} \right] \frac{1}{1 + \omega^2 \tau^2}, \quad \alpha(\omega) = \frac{1}{2} \left[\frac{U_{\infty}^2 - U_0^2}{U_{\infty}^3} \right] \frac{\omega^2 \tau}{1 + \omega^2 \tau^2}$$

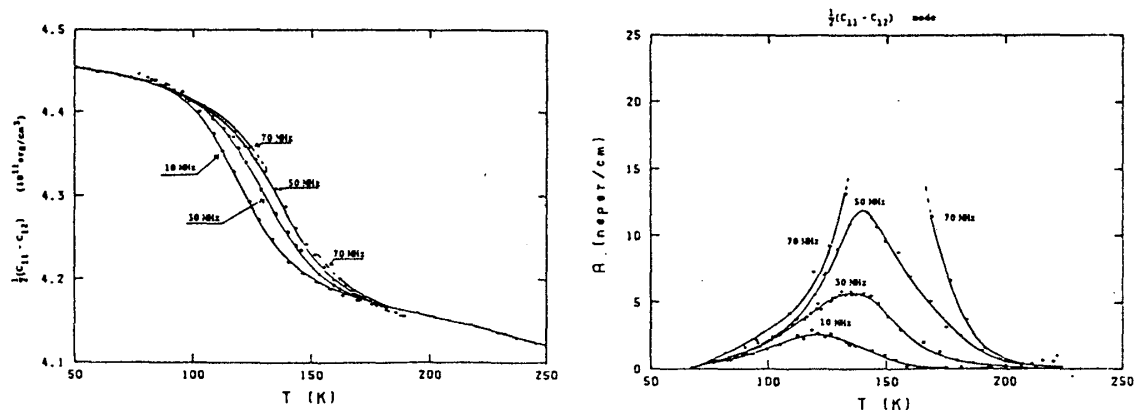


Fig.1 Sm_3Se_4 の $(C_{11} - C_{12})/2$ モードの超音波分散

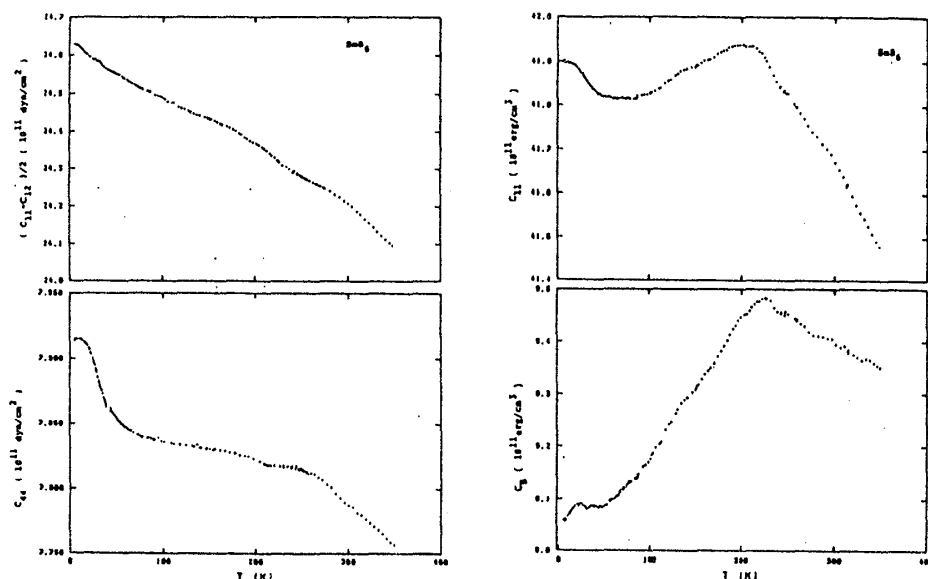


Fig. 2 SmB_6 の弾性定数の温度変化

によつて理解できる。こうして得られた熱的価数揺動時間は、 $\tau = \tau_0 e^{\Delta E/kT}$, $\tau_0 = 1.6 \times 10^{-13}$ s, $\Delta E = 0.12$ eV, の温度変化を示した。thermal hopping による価数揺動は低温では消失し, tunneling による揺動が支配的となる。後者の振舞を知るためには, 交流帯磁率のような動的応答を低温で詳しく知る必要がある。

SmB_6 は Sm_2Se_4 とは違い tunneling による価数揺動が支配的となっている典型物質である。比熱に 40 K 近くにピークを持つ shottky 型の異常があること, および 150 K 以下で SmB_6 の体積が膨張することなどから, SmB_6 の 4 f 電子は Fermi 面近くに位置し, energy gap を持った 2, の subband に分裂していると考えられている。Fig. 2 には, 50 MHz で測定した弾性定数の温度変化を示した。 C_{44} , C_{11} , $C_B = (C_{11} + 2C_{12})/3$ モードに, 約 230 K 以下で異常が見られる。特に注目すべきことは, SmB_6 の体膨張率の異常が発生する 230 K 以下で, それに共役な物理量である Bulk modulus C_B に softening が見られたことである。この結果も, amorphous Wigner Crystal によつて形成された band gap の存在と, 関連しているものと思われる。 SmB_6 の弾性定数 C_{12} は負の値, $C_{12} \cong -7 \times 10^{11}$ erg, を持っており, CeB_6 と同様であり, 興味をもたれる。^{2), 4)}

References

- 1) B. Luthi; AIP Conf. Proc. 34(1976) 7
- 2) T. Goto, A. Tamaki, S. Kunii, T. Nakajima, T. Fujimura, T. Kasuya, T. Komatsuura and S. B. Wood; J. Mag. Mag. Mat. 31-34(1983) in press
- 3) A. Tamaki, T. Goto, M. Sugita, S. Kunii, T. Suzuki, T. Fujimura and T. Kasuya; J. Mag. Mag. Mat. 31-34(1983) in press
- 4) T. Kasuya, M. Kasaya, K. Takegahara, T. Fujita, T. Goto, A. Tamaki, M. Takigawa and H. Yasuoka; J. Mag. Mag. Mat. 31-34(1983) in press