



TITLE:

Sm<sub>3</sub>Se<sub>4</sub>とSmB<sub>6</sub>の弾性的性質  
(VII 最近の実験的研究から「ICM  
Kyoto以後の成果を中心として」  
,価数揺動状態をめぐる理論の現状  
,科研費研究会報告)

AUTHOR(S):

後藤, 輝孝; 田巻, 明; 藤村, 忠雄; 国井, 暁; 笠谷, 光男;  
鈴木, 孝; 糟谷, 忠雄

---

CITATION:

後藤, 輝孝 ...[et al]. Sm<sub>3</sub>Se<sub>4</sub>とSmB<sub>6</sub>の弾性的性質(VII 最近の実験的研究から「ICM  
Kyoto以後の成果を中心として」,価数揺動状態をめぐる理論の現状,科研費研究会報告).  
物性研究 1983, 40(2): 54-55

ISSUE DATE:

1983-05-20

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/90921>

RIGHT:

# Sm<sub>3</sub>Se<sub>4</sub> と SmB<sub>6</sub> の 弾性的性質

東北大・科研 後藤輝寿, 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  $\Gamma_3^+$ ,  $\Gamma_5^+$ ,  $\Gamma_5^+$  の対称性を有する。 $\epsilon_{ij}$  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  $\epsilon_{ij}$  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、 $\delta \epsilon_{me} = -\sum_{ij} g_{ij} \hat{O}_{ij} \epsilon_{ij}$  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。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<sub>6</sub><sup>2)</sup>, PrB<sub>6</sub> 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<sub>3</sub>Se<sub>4</sub>, SmB<sub>6</sub> の実験結果について考える。

Sm<sub>3</sub>Se<sub>4</sub> では、Sm<sup>2+</sup> と Sm<sup>3+</sup> 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 の機構により価数揺動が起きていると考えられる<sup>3)</sup>。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、 $\Gamma_3^+$  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。 $\Gamma_5^+$  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、

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

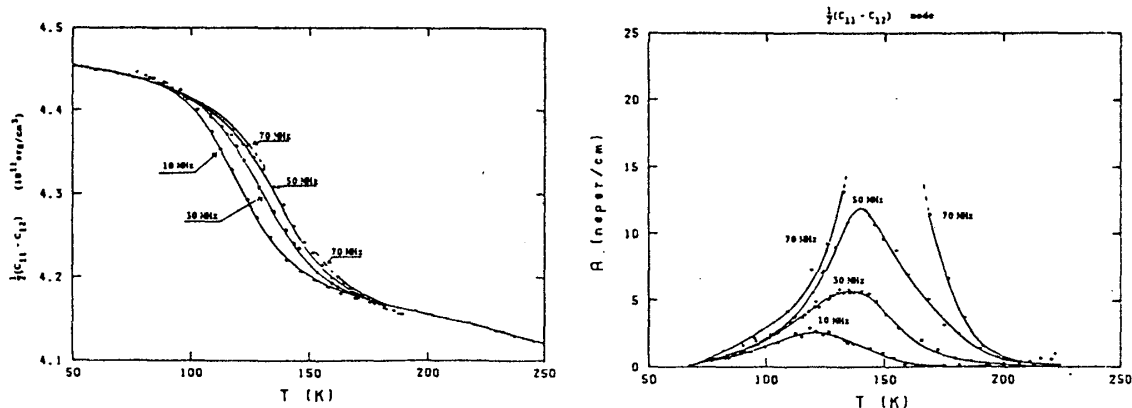


Fig. 1 Sm<sub>3</sub>Se<sub>4</sub> の  $(C_{11} - C_{12})/2$  モードの超音波分散

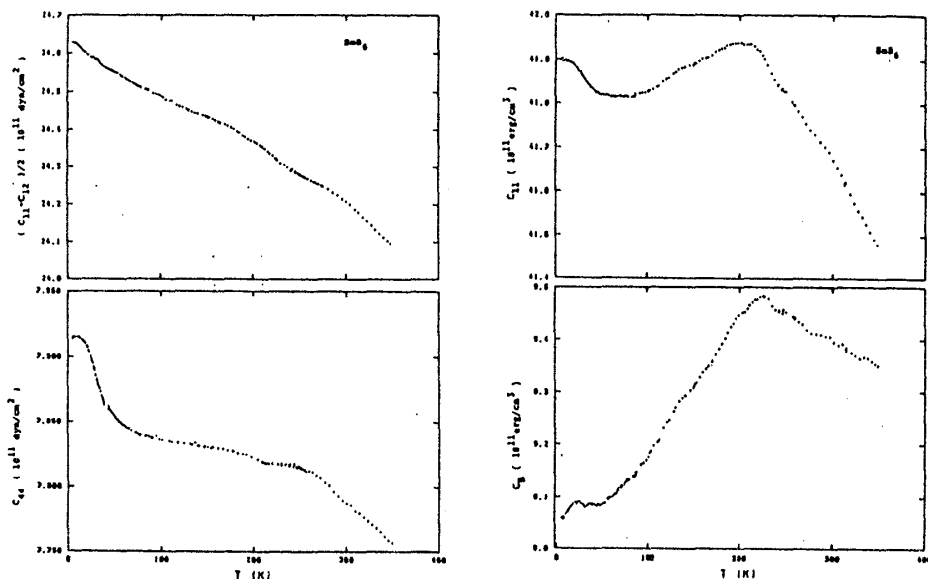


Fig. 2  $SmB_6$  の弾性定数の温度変化

により理解できる。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 4f 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 により形成された 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/cm<sup>2</sup>, を持っており,  $CeB_6$  と同様であり, 興味をもたれる。<sup>2), 4)</sup>

#### 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