

はじめにお読みください

この文章は、研究室に所属する学生が研究活動の一環として作成してくれたものです。研究室セミナーの時間に輪番で発表してもらい、研究に関連した事項の基礎知識の向上をはかりました。内容・文章ともに未だ不完全なものもありますが、2018 年度に調査してくれたものを公開いたします。

※学生の作成してくれたファイルをそのまま公開しております。ところどころ誤った記述もあるため、内容については保証いたしかねます。ご注意ください。
(2019 年度以降、少しずつ改訂していく予定です。)

2018 年 3 月 名古屋工業大学 川崎・石井研究室
<http://kawasaki.web.nitech.ac.jp/jp/tips/index.shtml>

【執筆者一覧】

・ 卒研究生

伊達 怜実、堀之内 理紗、山田 えみり、吉谷 駿、渡邊 裕介

・ M1

浅井 七海、亀岡 真祐子、近藤 航平、長谷川 毅、横井 和真、高橋 実夏子

・ M2

石亀 弘基、久野 潤也、中村 元海、林 遼治、松下 一樹、眞鍋 駿

・ D3

李 蒼昊

【ラマン・赤外分光法】

(24) 音響モード (A) と光学モード (O) って何ですか？また、それぞれのモードは、縦波モード (L) と横波モード (T) に分けられます。

これら 4 つ (LA, LO, TA, TO) の違いについて解説してください。

作成日： 2018 年 7 月 2 日

担当者： 久野 潤也

音響モードや光学モードは振動の違いから分別できるものである。結晶中の分子、またはイオンは平衡位置において小さく振動をしており、この振動を固有振動に分けてそれぞれ量子化を行うとエネルギーが $h\nu$ の整数倍となる。この振動の波をエネルギーの粒子の集合とみなすことが出来る。これをフォノンという。本題に戻すと、フォノンは音響フォノンと光学フォノンの二つに分けることが出来る。振動の違いを Fig. 1 に示す。音響フォノンは隣のフォノンと同じ位相で振動をする。一方、光学フォノンは逆の位相で振動をする。そのため、光学フォノンの場合には双極子モーメントの変化を伴うため、光との相互作用を起こすため、光学的に活性である。光学フォノンによる光散乱をラマン散乱と呼ばれる。ここで各原子の振動数を表す角振動数 ω とフォノンの波の数を表す K の間には次の式の関係がある。

$$\omega_{\pm}^2 = \frac{(k_1 + k_2)(m_1 + m_2) \pm \sqrt{(k_1 + k_2)^2(m_1 + m_2)^2 - 16k_1k_2m_1m_2\sin^2(\frac{Ka}{2})}}{2m_1m_2}$$

この式から一つの K に対して二つの ω が得られることが分かる。その ω の分散関係を Fig.2 に示す。この分散関係からでもフォノンを光学、音響と分別することができて、 $K=0$ の時に ω が 0 であるものを音響モード、 $K=0$ の時に ω が有限の値であるものを光学モードとしている。

そして、フォノンの振動の違いとして縦波、横波と分けることが出来る。縦波と横波の違いを Fig.3 に示す。縦波はフォノンの波数ベクトル、つまり進行方向と同じ向きに格子振動をしている場合で、横波は波数ベクトルと垂直方向に格子振動をしている場合である。横波は進行方向に対して二つのモードを取る。この縦波、横波と音響モード、光学モードを組み合わせると LA, LO, TA, TO と分けることが出来る。音響モードの縦波は物質の圧縮・膨張、横波は物質のズレに相当する。光学モードの縦波は空間的に電荷が偏るらしく一般的に横波よりも高い角振動数を示す。それによって格子振動エネルギーにも違いが生じる。それを Fig. 4 に示す。そのため、結晶の格子振動を観察する場合は LO を見ている場合が多い。

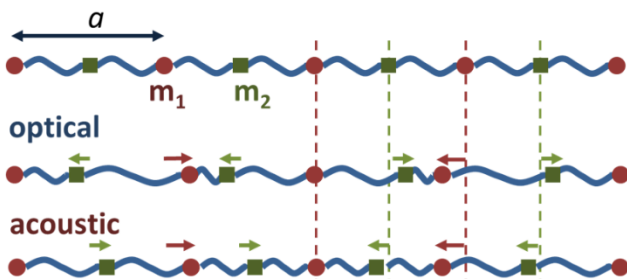


Fig. 1 光学フォノンと音響フォノン

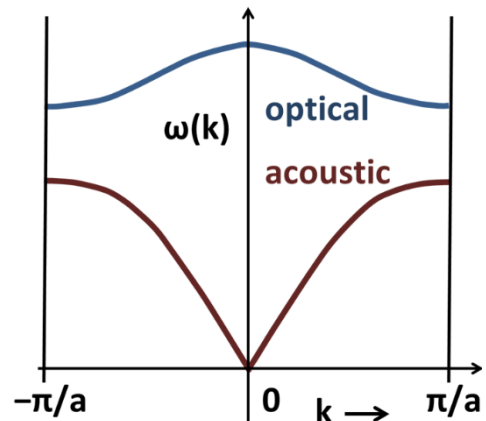


Fig. 2 フォノンの分散関係

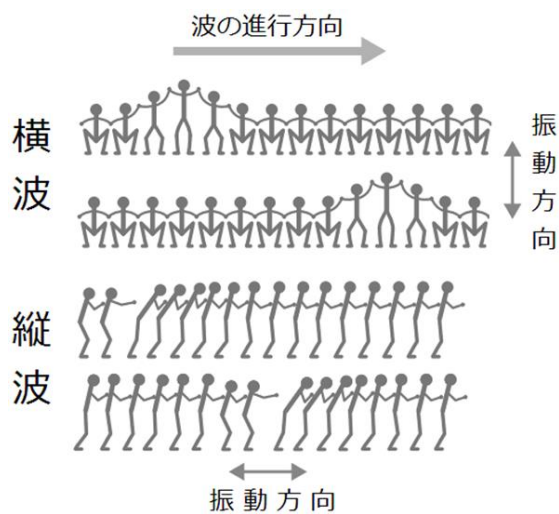


Fig. 3 横波と縦波のイメージ

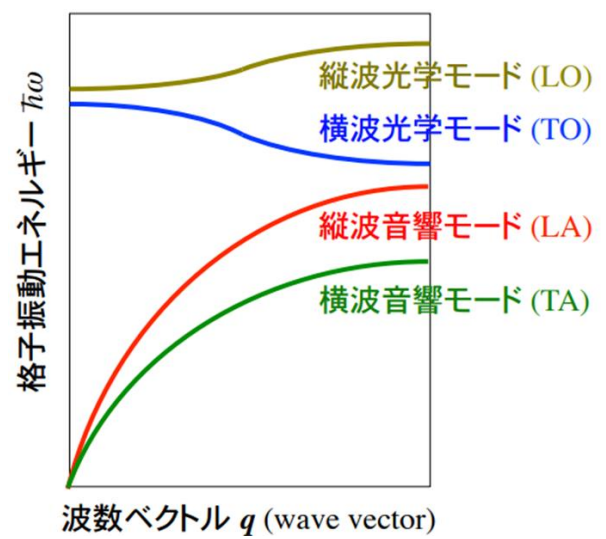


Fig.4 各モードとエネルギー関係

参考文献

- <http://www.ritsumeai.ac.jp/se/~nakada/lecture/solid/phonon.pdf>
固体物理 格子振動と熱的性質要旨
- http://msp.fas.ibaraki.ac.jp/_src/sc587/Lecture_J-PARC_Acc.pdf
2016.7.15 J-PARC 加速器概論 第6回
- <http://www.wikiwand.com>
フォノン
- <https://user.spring8.or.jp/sp8info/?p=2856>
ダイヤモンドを超伝導に導く格子振動