



Title	半導体不純物準位によるエレクトロニックラマン拡散
Author(s)	中島, 信一
Citation	大阪大学低温センターだより. 1978, 22, p. 8-10
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/7333">https://hdl.handle.net/11094/7333</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

# 半導体不純物準位によるエレクトロニックラマン散乱

工学部 中 島 信 一(吹田4668)

これまでラマン散乱と言えば、その測定の対象となるものは分子振動や固体の格子振動だけと考えられがちであって、実際測定がなされているものの大部分はこれ等振動モードに関するものであった。しかしラマン散乱は入射光と散乱光の二つの光子の関与する2光子過程で、量子力学の言葉で言うなら光吸收の様な一次の遷移過程と比べより高次の遷移過程であるに過ぎない。従ってラマン散乱の選択則を満たす固体内の素励起は原理的に全て観測可能なはずである。この素励起の内、電子準位間の遷移に関する散乱（エレクトロニックラマン散乱）は1963年エリオット達によってその可能性を指摘されてから幾つかの測定が行なわれてきた。

ここで紹介するのは半導体中の不純物準位間の電子遷移によるエレクトロニックラマン散乱実験<sup>1)</sup>である。

エレクトロニックラマン散乱は光吸收による電子遷移が、パリティの異なる準位間の遷移であるのに対し、同じパリティ（偶→偶）間の遷移なので光吸收測定と相補的な情報をもたらしてくれる。光吸收は一次の遷移過程であってわずかの濃度の不純物に対しても強い吸収係数を与える。この点半導体不純物準位の赤外吸収は不純物検知には非常に強力な手段ではあるが、不純物濃度が $10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 程度を越えると測定が難かしくなってくる。これに対しラマン散乱は高濃度の不純物を含む試料に対しても測定が容易である。Geでは $\sim 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のオーダーの不純物濃度で半導体一金属転移（Mott Transition）が起るが、この転移が実際にラマン散乱によってくわしく調べられた。

これまで半導体の不純物準位の研究は、4族のSi, Geや3-5族半導体で何十年に亘って実験、理論共多くなされていて、今さら何をと思われる向きもないではない。ところが同じ半導体でもイオン性の強い2-6族半導体になると、不純物準位については何も正確な事は分かっていないと言うのが現状である。この様な状況の中で我々がZnTeを取り上げこのアクセプターのエレクトロニックラマン散乱の測定を始めたねらいは

- (1) 2-6族半導体の不純物準位に対してGeやSi等で成功をおさめた有効質量近似がどの程度適用できるか。
- (2) 4族の共有性結晶に比べイオン性が強い2-6族半導体で強い電子-格子相互作用がどの様に不純物電子準位に影響しているか。

を調べることにあった。

第一図は砒素アクセプターを含むZnTeのエレクトロニックラマン散乱の一例でアクセプターの1S-2Sと1S-3S準位間遷移に対応するバンドが観測される。さらにこれ等電子遷移に附随してフォノン放出を伴うvibronicなバンドが多く見られる事は興味深い。特に強度の強いvibronicなバンドはLO(縦波光学)フォノンの放出を伴なうもので、TO(横波光学)フォノンや音響フォノン放出を伴なうバンドも観測される。このようなvibronicなバンドは3-5族半導体でも観測されてはいるがその強度は弱く、この事からも2-6族半導体の電子-格子相互作用が比較的強い事がうかがわれる。

最近有効質量近似を用いたアクセプター準位の計算<sup>2)</sup>が、zinc blende型構造をもつ半導体について行なわれた。この計算は価電子帯の構造を決めるバンドパラメーターの関数として準位のエネルギーを求めていた。我々は逆に計算値が実験に最も良く合う様にしたときのバンドパラメーターを求め、これから正孔の有効質量を推定した。

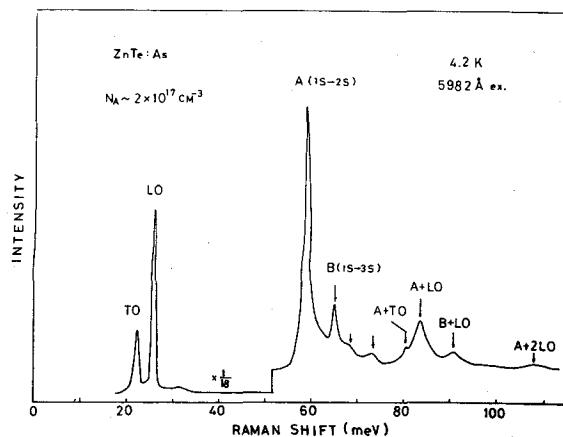
第2図でこのエレクトロニックラマン散乱と赤外吸収から得られたZnTeの3種類のアクセプター準位と計算された準位とを比較してみよう。興味があるのは1S準位に対しては10meV程度のchemical shift (不純物の性質による違い)が見られるのに対して、2S 2P状態にはほとんどchemical shiftが見られない事である。2P<sub>3/2</sub>( $\Gamma_8$ )、2P<sub>5/2</sub>( $\Gamma_7$ )及び3S準位が不純物によって1~2 meVくらい違っているのはchemical shiftのせいではなくZnTeのtwo-phonon状態のエネルギーが1S準位とこれら準位間のエネルギー差に等しいために起った一種の干渉効果であろうと考えられる。

この様にして求めたバンドパラメーターから軽い正孔と重い正孔の有効質量を計算すると  $m_L^*/m_0 = 0.148$

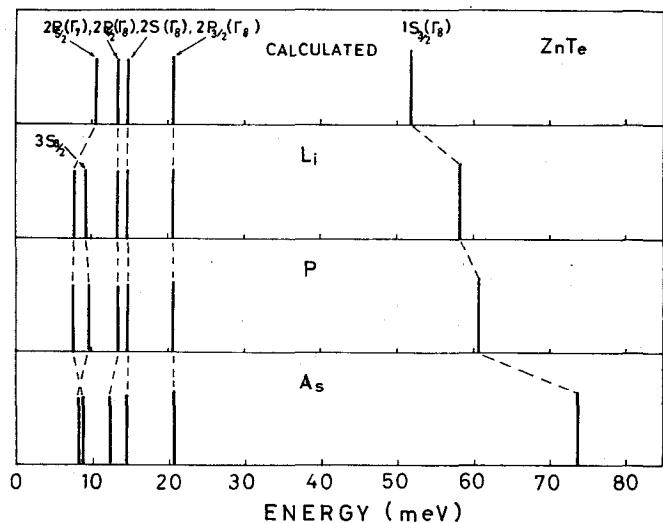
$m_H^*/m_0 = 0.662$  となり ZnTe のサイクロトロン共鳴から得られた値<sup>3)</sup>

$m_L^*/m_0 = 0.154$ ,  $m_H^*/m_0$  は 100 = 0.64 によく合っている。これ等の結果から考えると少くとも ZnTe の3種のアクセプター不純物 As, P 及び Li に對しては Si, Ge と同様有効質量近似

が良い結果を与えると言えそうである。又強い電子一格子相互作用の結果として vibronic band が強く



第1図 ZnTe内の砒素アクセプターによるエレクトロニックラマン散乱スペクトル



第2図 実験より求めた Li, P 及び As アクセプターの励起準位、計算値は文献(2)の方法で実験に最も良く合う様にバンドパラメーターを選んだ場合のものである。

観測される。さらにフォノンエネルギーと電子遷移エネルギーが同程度になった場合はこれらの状態のmixingが起ると考えられる。

我々の興味がある半導体はバンドギャップが2eV以下のものが多く、これらの物質のエレクトロニックラマン散乱の測定には波長の長いレーザーを必要とする。フォノンによるラマン散乱の強度はレーザー光の振動数 $\omega$ の四乗に比例するので、波長の長いレーザーに対しては散乱強度が弱く観測が困難である。しかしあ電クトロニックラマン散乱強度はこの $\omega^4$ 則に従わないので赤外レーザーに対しても観測が可能である。

## 文 献

- 1) S.Nakashima, H.Kojima and T.Hattori : Solid State Commun. 17, 689 (1975).
- 2) A.Balderschi and N.O.Lipari : Phys. Rev. B9, 1525 (1974).
- 3) R.A.Stradling : Solid State Commun. 6, 665 (1968).

## 応用物理学会関西支部セミナー

### 「低温物理とその応用」第2回研究会

標記の研究会が4月21日(金)午後2時より5時まで大阪市立大学田中記念館で開かれた。講演題目と講師は次の通りであった。

1) LNG貯槽の断熱

川崎重工技研 岩田 章 氏

2) 断熱磁化冷却と磁場中オーダー

阪大基礎工 長谷田 泰一郎 氏

会は阪大工学部 山田朝治教授の司会で進められ活発な議論があった。