

Title	IV-VI族半導体の構造相転移 : 強磁場による格子結合の制御
Author(s)	邑瀬, 和生
Citation	大阪大学低温センターだより. 1978, 21, p. 8-10
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/10675
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

IV-VI 族半導体の構造相転移—強磁場による格子結合の制御

理学部 邑 瀬 和 生 (豊中 2477)

カビッツァーが 300 KG の強磁場の発生に成功したとき、アインシュタインをはじめあちこちから「磁場による光速の変化を研究してはどうか」と進言をうけた。実験精度と考え合せて、予想される効果が極く小さいものと踏んだカビッツァーは実験に着手しなかった。

3 年前に、西独のビュルツブルク大学で「半導体物理における強磁場の適用」と題するサテライト会議が行われた。開会の辞でランドウェアー教授は「……ここで本会を催すことは大変意義深いと思います。かってレントゲンはこの大学で「X」線を磁場で曲げる実験を試みました。当時の装置はいまでも物理教室に保存されています。今日でも磁場で X 線を偏向させる実験はまだどこでも成功していないようです。……」と話された。

以上 2 つの実験テーマは「日の目」をみなかった (or まだ日の目を見ていない) とはいえ、いずれも素粒子の運動の磁場効果を期待した発想に基づいており、ここに「物性の磁場による制御」の原型をみることができる。

低温で半導体を強磁場中におくと、価電子帯や伝導帯はバンド電子のサイクロトロン運動に相当するランダウ単位を形成して、その状態密度の様相を変える。半導体や半金属のようにフェルミ・エネルギーが小さく ($\leq 10^{-1}$ eV)、電子の有効質量が小さい ($m^* \leq 10^{-1} m_0$) 物質ではランダウ量子化に伴うドラマティックな物性現象が見られる。これに関して、たとえば、半導体や半金属内の荷電・準粒子の凝縮相の研究があり、いずれも安定な結晶構造を舞台としたものである。研究者はそのさい、舞台の成り立ちをしぼし忘れて役者たちの演ずる離合集散のドラマに注目する。

十九世紀の後半—フェラデー達の開いた半導体のゆりかご時代からの古い歴史をもつ物質の一群に PbS が含まれる。PbS の仲間に PbTe, SnTe, PbSe などがあり、いずれも狭いエネルギー・ギャップをもつので赤外線検知器やレーザーの素材として近年とみに開発が進められた。PbS の結晶構造は NaCl 型であるが、仲間の内には SnTe, GeTe やある組成の混晶系のように NaCl 型 ⇄ As 型の構造相転移をひきおこすグループがある。また超伝導を示す場合もあり、あれやこれやでエキゾチック半導体の部類に入れられたりする。

PbS 仲間は IV-VI 族半導体であり平均 V 族の化合物で、Bi, Sb や As などの V 族半金属結晶とも縁が深い。NaCl 構造の不安定性は価電子が概ね p 様の性質をもつことと関係している。最近接格子点が 6 個あるのに対し p 結合手が 3 個しかないために、金属とカルコゲンの格子が $\langle 111 \rangle$ 方向に変位し、結合を飽和させて安定になろうとする¹⁾ (図 1)。バンド構造をみると第 1 に Jones 帯の表面に 2 eV 程

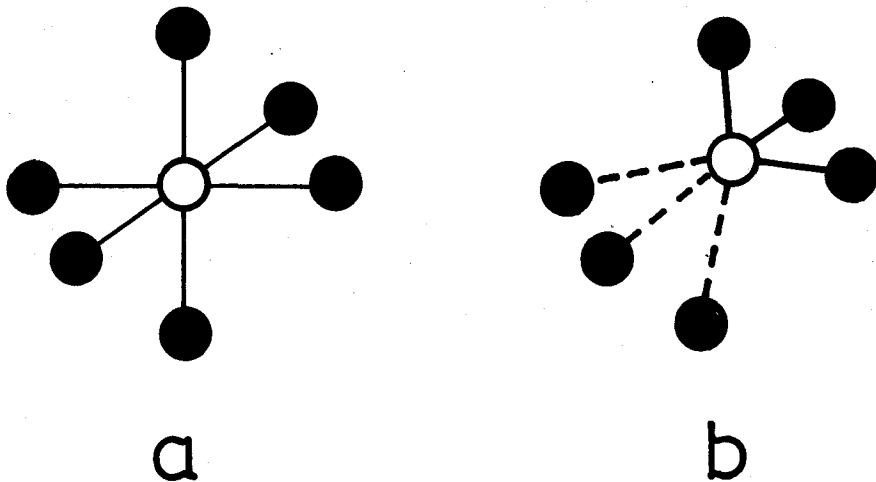


図1. (a) NaCl型 (b) As型。副格子の $\langle 111 \rangle$ 変位と同時に菱面体的変形が起る。

度のエネルギー・ギャップが出来ており、²⁾金属が3次元のバリエルス転移を起した形になっている。このギャップは価電子-伝導帯の平均ギャップに近く、 $(\epsilon_2(\omega)$ の極大を与えるエネルギー)その値が小さいので価電子は大変分極しやすい($\epsilon_\infty \sim 40$)。ベン・モデルからバンド・ギャップを求めるとほぼ2 eVになる。バンド構造の第2の特徴として、半導体エネルギー・ギャップにふれる必要がある。価電子帯頂上と伝導帯底はいずれも $\langle 111 \rangle$ に等価な方向のブリューアン帯端(L点)にあって微小なエネルギー・ギャップ(0~0.3 eV)で隔っている。L点のバンド構造の特色は赤外線分光への応用をもたらすのみならず、格子不安定性に対して微妙な役割を担うことが最近の研究で明らかになって来た。

格子の不安定性のダイナミクスを簡単に理解するために、 $T=0$ では金属とカルコゲンの副格子が互いに $\langle 111 \rangle$ 方向に変位して(結晶は同時にわずかに菱面体に変形している。)安定化するものとしよう。NaCl構造から徐々に $\langle 111 \rangle$ 変位を起させると、価電子状態もそれに速応して変化する。価電子状態の変化は副格子間の結合を強める向きに働き、格子変位に伴うエネルギーを下げる方向にある。

格子不安定性を素励起の言葉で記述する立場では横波光学フォノン(TO)を主役として扱い、そのソフト化の機構を問題にする。ソフト化の大きな要因としての格子変位と同時に起る価電子状態の変化は狭いバンド・ギャップを越えた価電子の分極効果としてとり入れられる。この金属モデルはいろいろな半導体におけるバンド・ギャップと横有効電荷の関係を統一的に見るのに都合がよい。³⁾尤もこれだけでは変位の指向性については何もいえない。変位の方向づけの要因と、格子の不安定性の組成敏感性を分析する必要がある。L点附近のバンド構造がこの問題の1つのカギをにぎっていると思われる。

そこで、強磁場によって、L点の価電子帯と伝導帯の様相をかえて相転移を制御しようと、鷹岡君らとPbTe-SnTe-GeTe 混晶系を対象に研究を行っている。⁴⁾実験は臨界揺動に伴う抵抗の異常を磁場をかえてしらべる方法をとった。面白いことには、転移温度が磁場とともに上昇することが確認され、

とくに量子極限 ($\epsilon_F \leq \hbar \omega_C$) 域で効果が大きいことがわかった。転移は TO フォノンのソフト化によって起るものとし、その振動数の自乗 ω_{TO}^2 の中に電子-フォノン相互作用、フォノン-フォノン相互作用の項を含ませる。波動函数の詳細を考慮し、磁場によるバンドの変化を導入して $\omega_{TO}^2(T, H) = 0$ より T_C の磁場依存性を計算すると実験データの示す傾向をほぼ再現できる(図2)。外部磁場の方向を変えた場合の効果のちがいや、抵抗異常の大きさの磁場依存性も観測された。

IV-VI 族の構造相転移を微視的に研究する有力な方法として格子結合を磁場で制御する実験の一例を極く簡単に紹介した。半導体物理では従来安定した格子をもった物質の多彩な電子現象の研究に主力が注がれ、美しく偉大な体系がつくられてきた。しかし最近とくに物質のなり立ちから考えなければ物性を理解できない状況が、新しい物理現象や工業技術上の問題に顕われている。IV-VI 族半導体の研究はそういう機運に呼応しうるもので、化学結合と電子エネルギー帯の両面からのアプローチによって物性を解明する1つの修練の場としての意義が深い。

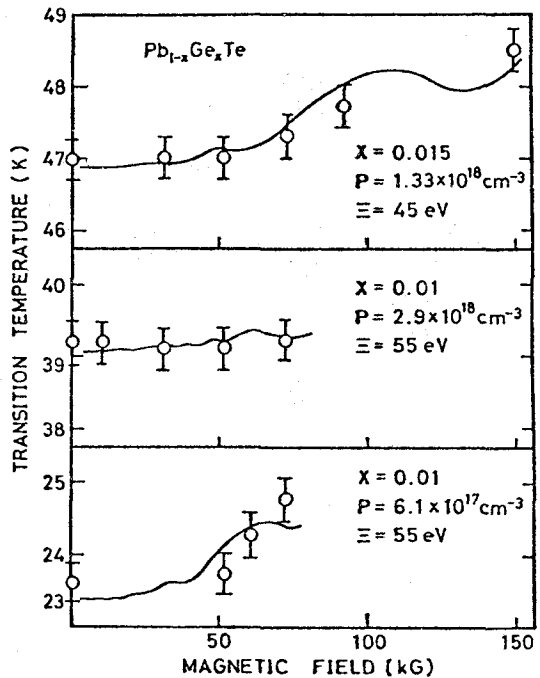


図2. 転移温度の磁場依存性。光学フォノンと電子の相互作用因子 Ξ をパラメーターにとった。凝縮スピンスplitとランダウsplitの大きさを等しくとってある。フェルミ分布の温度によるボクは計算に入れていない。

文献

- 1) G. Lucovsky and R.M. Martin ; J. Nonmetals **1**, 93(1973).
- 2) Y. Onodera ; Solid State Commun. **11**, 1397(1972).
- 3) S. Katayama and H. Kawamura ; Solid State Commun. **21**, 531(1977).
- 4) K. Murase, S. Sugai, S. Takaoka and S. Katayama ; Proc. Intern. Conf. Phys. Semiconductors. P305 (Rome, 1976).