

# 物性研だより

第14卷  
第6号

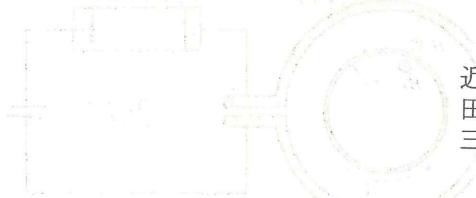
1975年3月

## 目 次

|  |    |
|--|----|
| ○ 物性研究所の強磁場研究 .....                      | 1  |
| 近角聴信<br>田沼静一<br>三浦登                      |    |
| 短期研究会報告                                  |    |
| ○ Vibronic Coupling .....                | 11 |
| 世話人代表 安積徹(東北大・理)                         |    |
| ○ 一次元導体の理論 .....                         | 19 |
| 世話人恒藤敏彦(京大・理)<br>長岡洋介(名大・理)<br>中嶋貞雄(物性研) |    |
| ○ 半導体の高効起効果 .....                        | 23 |
| 世話人代表 塩谷繁雄(物性研)                          |    |
| 物性研談話会 .....                             | 34 |
| 物性研ニュース                                  |    |
| ○ 理論第1部門助手公募 .....                       | 36 |
| ○ 人事異動 .....                             | 37 |
| ○ 物品の管理換えについて .....                      | 38 |
| ○ テクニカルレポート新刊リスト .....                   | 39 |
| 編集後記                                     |    |

東京大学物性研究所

## 物性研究所の強磁場研究



近  
田  
三  
角  
沼  
浦  
聰  
静  
信  
一  
登

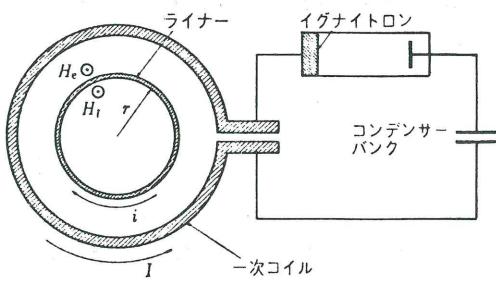
### 1. はじめに

物性研究所ではここ十年来強磁場委員会を組織して、強磁場下の物性研究を進めている。昭和45年度からは5ヶ年計画で、「極限物性」のための特別設備費の配分を得て、メガガウス領域の超強磁場発生をはじめ、3本の柱から成る強磁場研究計画を発足させ、これに基づいて研究を進めている。物性研の強磁場計画については、これまでにも何回か物性研だよりに述べてきたが<sup>1), 2), 3)</sup> 今年度は上記の5ヶ年計画の最終年度にあたり、所期の諸設備が完成に近づいて、研究がようやく軌道に乗ってきたことであり、物性研だよりのこの欄で物性研のいろいろな研究計画の記事を取り上げていこうとの編集部の企画に基づいた依頼を受けて、ここにあらためて計画の概要と研究の進展状況をまとめてみることにする。

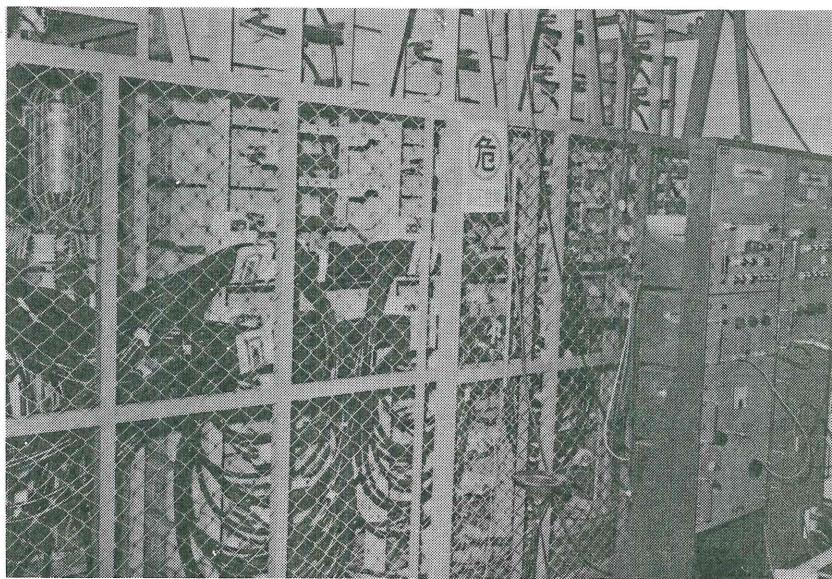
超強磁場に関する詳細な点については、必要があれば上記の記事なども参照していただきとして、ここでは設備の紹介を兼ねて、総括的にご報告することとした。

磁場が物性研究を行なう上で、一つの重要なパラメータであることはいうまでもないが、強磁場を発生するマグネットには多くの種類がある。これらは発生し得る最高磁場、発生空間の大きさ、磁場の持続時間などに皆それぞれの特徴をもっており、一般に強磁場を得ようとする程、必然的に空間、持続時間は小さく、あるいは短かくならざるを得ない。そこで研究に必要とする磁場の大きさによって、適当な方法を使い分けなければならない。20～30 kOe程度までの磁場は通常の鉄芯を用いた電磁石によって容易に発生し得るが、物性研でもこのようなマグネットは創設期に26台設置され、各分野で広く用いられている。また超伝導マグネットの普及により、60 kOe程度までの定常磁場もきわめて一般的な研究手段として多くの研究に使用されるようになった。

物性研の強磁場計画ではこれらの通常のマグネットよりも高いいわゆる強磁場ないし超強磁場を発生する手段を確立し、これを用いた物性研究を行なうことその目的としている。そのための磁場発生方法としては、次の三つの手段を採用することとなった。まず第一はクネール法とよばれる電磁濃縮法によって、2～3 MOeのメガガウス領域の超強磁場を瞬間的に作ることである。メガガウス領域の超強磁場は非破壊的に発生することはきわめて困難であるが、クネール法は破壊的方法のうちでは比較的制御が容易で物性研究には適していると考えられる。



第 1 図 クネール法による超強磁場発生原理図



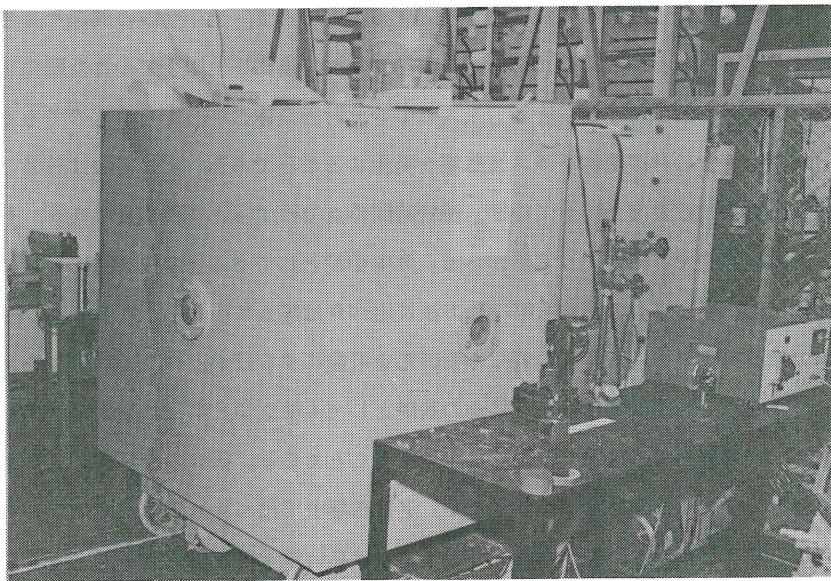
第 2 図 主コンデンサーバンク

この方法は発生可能な最高の磁場に挑もうとするものであり、発生手段の開発やその応用に至るまでに多くの困難を伴うものであるが、成功すれば、強磁場極限下での物性研究を可能にするものであり、われわれがもっとも力を入れており計画全体の中心をなすものである。第二は 500 kOe 程度までの非破壊的パルス強磁場を発生することである。この方法は磁場の高さの点では第一の方法には及ばないが、空間、持続時間の点ではずっと条件が良くなり、それに何といつても非破壊的であるという利点がある。発生手段としてある程度技術的にも確立されており、物性に応用する場合の困難も第一の方法に比べれば遙かに少ない。この程度の磁場でも定常磁場では不可能であった多くの興味ある研究を可能にするばかりでなく、第一の手段である超強磁場を用いて物性研究を行なう場合の基礎としても役立つ。第三は超伝導マグネットによって 150 kOe 程度までの磁場を定常的に発生することである。研究の種類によっては本質的に定常磁場が必要な場合があるばかりでなく、定常磁場中ではパルス磁場に比べてより高い精度の測定が可能になる。このような意味でできるだけ高い定常的な強磁場を発生することは物性研究にとってきわめて重要であるが、現在の所 100 kOe を越える定常磁場を得るために超伝導マグネットによるか、又は大容量電源によって励磁された水冷空心コイルによる他はない。物性研では創設後まもない頃に空心コイル方式を採用すべきかどうかについて大議論を行なった末、約十年後には 100 kOe 以上の超伝導マグネットができるであろうとの見通しのもとに、ぼう大な設備費ならびに経常費を必要とする空心コイルの計画を放棄した。最近に至って超伝導マグネットによって 150 kOe までの磁場が得られるようになるとともに、空心コイル方式が次第にその重要性を失いつつあることを考えるとき、当時の判断は正しかったといえよう。物性研では現在最高磁場がそれぞれ 80 kOe, 100 kOe, 150 kOe の 3 つの大型超伝導マグネットを設置して、物性研究に用いている。

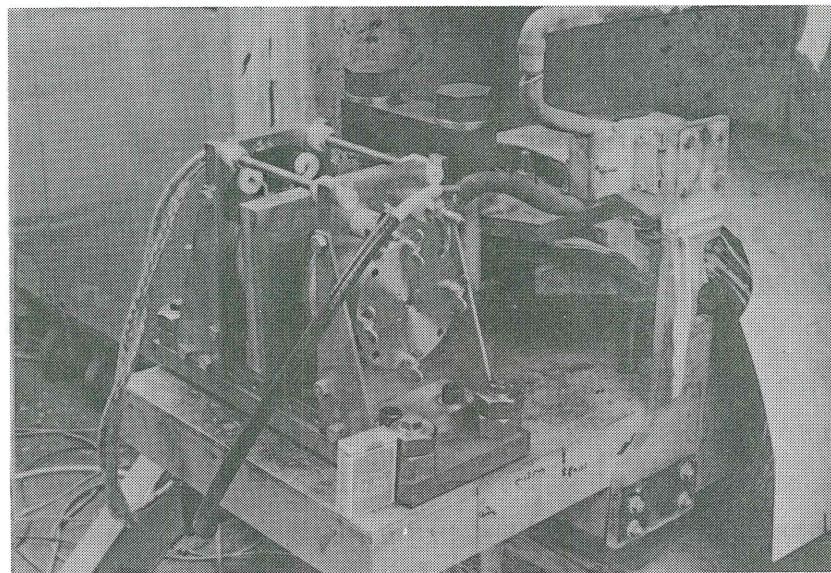
以下に上記の 3 つの計画のそれぞれの現状について述べる。

## 2. メガガウス超強磁場

メガガウス領域の超強磁場を発生するために、物性研ではクネール法を採用しているがこの方法は、室内実験が可能であるという点で物性研のような場所で実験を行なうには適しており、比較的制御が容易であるという点で物性研究に適した装置を作ることができる可能性をもっている。クネール法の原理については、ここでは詳細を述べることは省略するが第 1 図にその原理図を示しておく。ライナーの  $\theta$  ピンチを引起こすためには大容量のしかも高速のコンデンサーバンクが必要であるが、物性研では 30 kV, 642  $\mu$ F (285 kJ) のコンデンサーバンクを



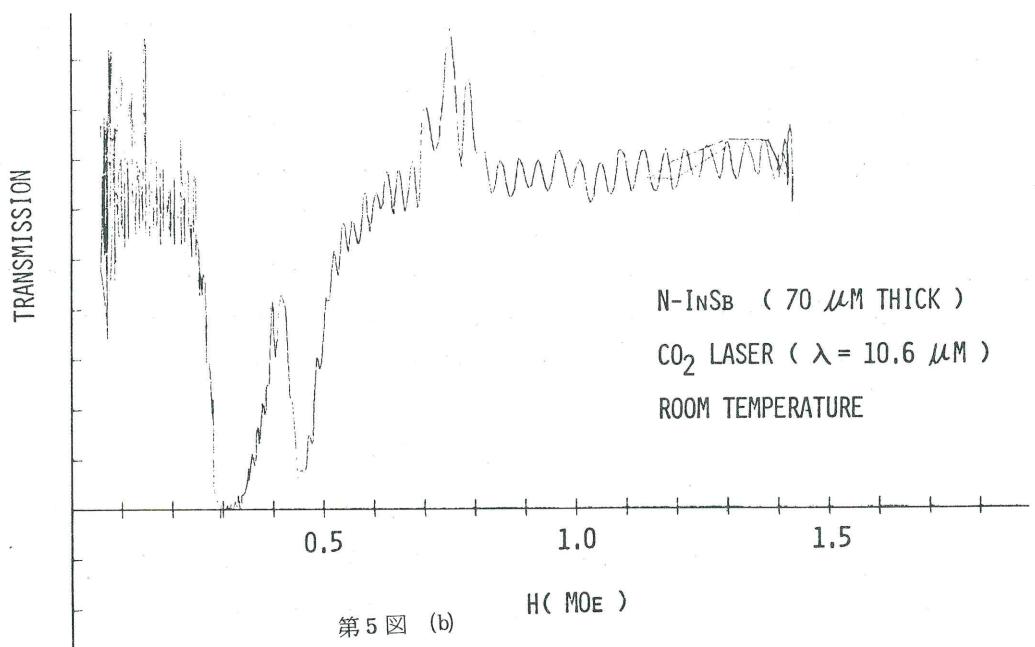
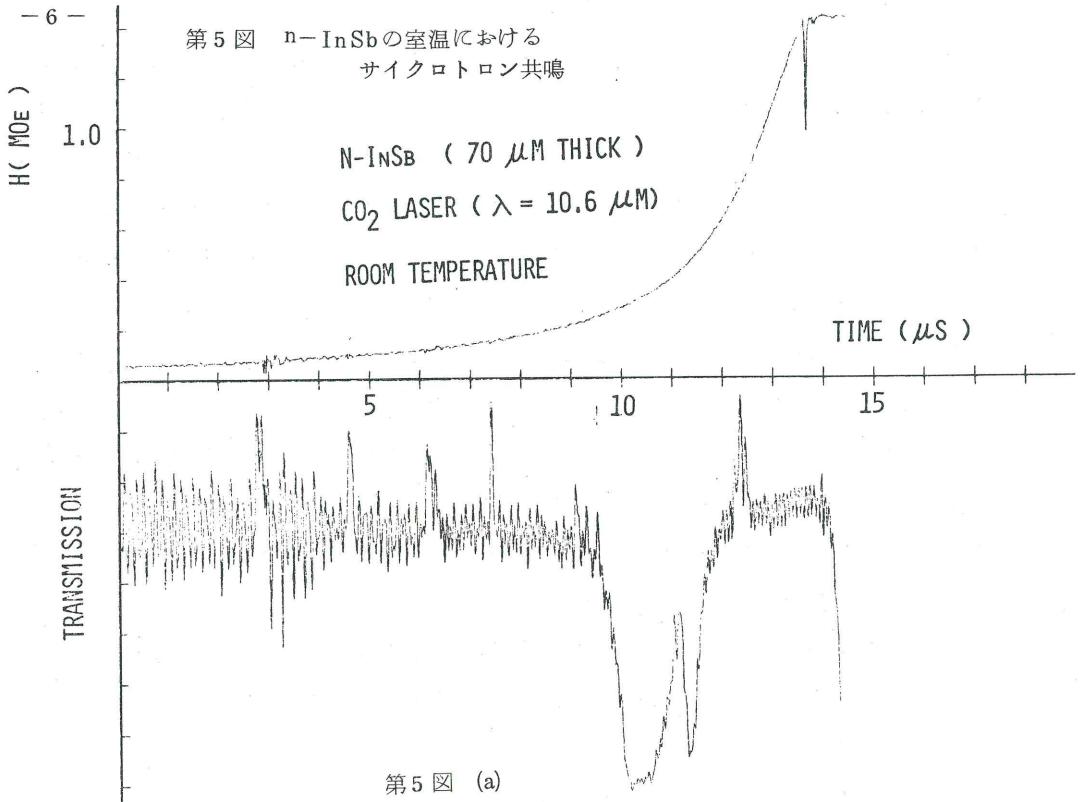
第3図 鉄製防護箱



第4図 超強磁場発生用コイル付近

設置してこれにあてている。第2図に主コンデンサーバンク（写真に写っているのはその半分）を示す。ライナー中にはあらかじめ濃縮されるべき “Seed field” を注入しておくが、そのためには 3.3 kV, 3 000  $\mu$ F (16 kJ) のサブコンデンサーバンクを用いている。主コンデンサーバンクのスイッチングのためにはイグナイトロン（三菱 MI-3300 E）12本から成るイグナイトロンバンクを用い、これによって最大 1.2 MA, 立上り時間約 20  $\mu$ s の放電が可能である。超強磁場発生の際コイルの部分は第3図に示すような厚さ 12 mm の鉄板から成る防護箱中に納められ、この中で磁場発生を行なうが、この箱によって巨大な衝撃音や、ピンチ後非常な勢いで飛散するライナーなどの破片が外に洩れるのを防ぐことができる。このため図にみられるように、光学測定装置などは箱の一部に設けられた窓のかなり近くにまでセットすることができる。超強磁場発生用コイル付近の様子を第4図に示す。図に示すものはごく最近作製した大型コイル（ライナー径 100 mm 用のもの）であり、十分に丈夫な一次コイルと初期磁場注入用コイルから成っている。クネール法では磁場の立上り時間は数  $\mu$ s の程度できわめて速いので、磁場やその他の物性測定には高速の信号記憶装置として、現在 Biomation 社製の 8100型 トランジントレコーダ（最高時間分解能 10  $\mu$ s）を 3台用いている。これによつて 3 現象までの信号の同時記録が可能であるが、トランジントレコーダの出力はまたコンピュータに入力として入れてデータ処理を施すことができる。

発生し得る磁場としては、現在までに直径約 3mm の空間に 1.4 MOe 程度までの磁場が再現性良く得られるようになった。磁場の立上り時間は約 4  $\mu$ s である。この有効径中で低温における測定を行なうことは困難であるが、第4図のような大型コイルによって最大磁場と有効径を増す計画を現在進めている。一方、今までにメガガウス領域の超強磁場が一応安定に発生できるようになったので、磁場発生技術の改良と並行して、半導体、磁性体を中心に超強磁場中の室温における物性測定を開始している。超強磁場中における測定手段としては、光学的測定法が得られる情報量がもっとも豊富でかつ技術的困難さが少ないと考えられる。例として第5図に最近測定された CO<sub>2</sub> レーザー（波長 10.6  $\mu$ m）による n-InSb の室温におけるサイクロトロン共鳴のデータを示す。（a）は時間に対してプロットされたものであり、（b）はコンピュータによって信号を磁場の関数として並べ替えてプロットしたものである。伝導帶の大きい非放物型性を反映して 2つの吸収ピークが分離されている。超強磁場中におけるサイクロトロン共鳴は、低移動度物質の電子構造、電子帶の非放物型性、電子—フォノン相互作用等の研究において興味深いものがあるが、今後多くの物質にこのシステムを適用していきたいと考えている。この他超強磁場を用いて酸化物磁性半導体や、フェリ磁性体、インバー合金な



どの研究を行なう計画である。

### 3. 非破壊的パルス強磁場

上に述べたメガガウス磁場が技術的な意味でも開発的に研究を行なわなければならないのに對して、500 kOe 程度までのパルス磁場は多くの研究所において種々の物性研究に用いられている。150 kOe 以上の定常磁場を作ることは困難であるので、150 kOe ~ 500 kOe のパルス強磁場を非破壊的に安定に発生することは、この領域での物性を研究する上で重要である。

物性研にはこのためのコンデンサー・バンクとして 3.3 kV, 6000  $\mu$ F ( 32 kJ ) のものが設置されている。パルスマグネットにはいろいろな構造のものがあるが、用途によって適當な設計を考える必要がある。現在上記のコンデンサー・バンクを用いて 2 種類の研究が進められている。そのうちの一つは遠赤外分子レーザーによる半導体におけるサイクロトロン共鳴の研究である。Cu - Be 製コイルによって 350 kOe 程度までの磁場を発生し、この下で高速度赤外光検出器を用いて、レーザー光の共鳴吸収や反射を 7 ~ 300 K の温度範囲で測定している。強磁場中では低移動度の物質や高有効質量の物質の共鳴が測定可能になり、これらの物質のバンドパラメータを精密に決定することができる。これまでに p-GaSb, HgTe, n-GaP など興味ある物質のサイクロトロン共鳴が観測されている。

もう一つの研究は高温強磁場における強磁性金属、特に Fe, Ni および Fe-Ni インバー合金の帶磁率に関するものである。Tc より高温での強磁場帶磁率には、分子場の影響が小さい状態で、スピニ系の興味ある振舞が期待される。金属を測定するために長大パルス磁場（立上り時間 7.2 ms, 立下り時間 60 ms, 最高磁場 180 kOe）を発生できるマグネットを作製し、77 ~ 1100 K の温度範囲で帶磁率を測定している。これまでに Ni(36%) - Fe では磁化曲線が  $H = AM + BM^3$  則に従わず、二つの直線部から成る折線となるなどの興味深い結果が得られている。

### 4. 超伝導マグネット

パルス磁場に比して、定常磁場による実験は実験精度のうえで極めて優れており、超強磁場を目ざすパルス磁場に対して相補的役割をするものである。すなわち、磁場強度の精確な制御と決定、優れた均一度、種々の物理量の測定の高精度、高感度化、試料温度などの制御とくに極低温との組合せの容易さ、試料中の渦電流や長い緩和時間をもつ試料系での望ましくない過渡効果の回避など、多くの重要な特長をもっている。このため、上述の経過を経て超伝導コ

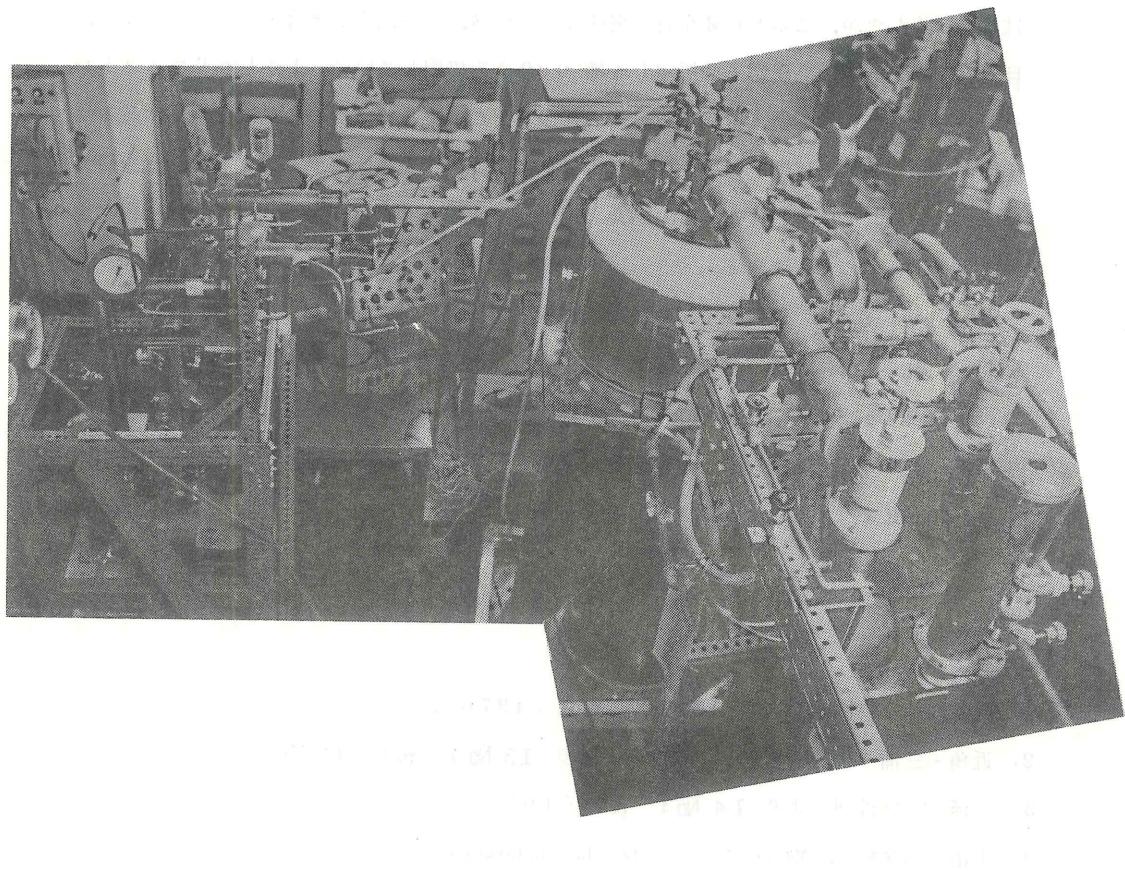
イル方式を採用し、現在3つの超伝導マグネット（S.C.M.）が設置され運転されている。

これら3つの S C M の概要と運転情況を以下に説明する。詳細については稿を改めて報告するつもりである<sup>4)</sup>。ここではこれら3つの S C M の特徴と問題点の概略を記す。

a) 80 kOe S C M：購入は 1967年で、当時 Nb<sub>3</sub>Snテープを開発したRCA社が、最強の S C M として市販していたものである。残念なことに購入当初、リード接合部の欠陥や電源から生じるスパイク状雜音のため頻繁にクエンチを引きおこし、十分な利用ができなかつた。これはコイル、デュワー、電源のメーカーを変えたためのミスマッチが大きな原因であり、その原因がなかなかつかめなかつたことによる。1973年以降後記 I G C 社の電源を使用するようになってから、安定に動作するようになり、現在は強磁性体の帯磁率の測定に主に用いられている。

b) 100 kOe S C M：1972年 I G C ( Intermagnetic General Co. 社) より、デュワーおよび電源を含めた全システムとして購入した。この S C M は GE 社の開発した高性能の Nb<sub>3</sub>Sn テープのコイルディスクをパンケーキ状に積み重ねた有効内径 25mm $\phi$  のコンパクトなもので、ハンディで強力なため MINIBRUTE-100 のペットネームをもつ。これも納入初期の1年余はデュワー、リード線などに種々の事故が相ついだが、これらはすべて克服され、現在は安定した運転が続けられている。このコイルの最大の特長はコイル設計のよさ、たとえば小さいインダクタンス(1H以下)のために磁場掃引時間が他のものに比べ非常に早く、Flux Jump による雜音が少なく、さらにデュワー(アルミニウム製)を含む全系が極めてコンパクトであり、液体ヘリウムも 10ℓ 弱で 100 kOe までの上げ下げ 20 回ていど 10 時間の実験が可能である。コイルに挿入する試料用デュワーの内径は 19mm $\phi$  で、<sup>3</sup>He クライオスタットに連結され、試料温度は 0.35 K から室温まで可変である。所の内外の利用が多く、液体 He 供給制限もあって時間割当が困難となっている。さらに、現在田沼研究室に設置されているが、さらに有効に利用するには専用のスペースが待望される。

c) 150 kOe S C M：1974年に購入された世界最強の S C M であり、また有効内径も 32mm $\phi$  ある。100 kOe S C M と同じ I G C 社製で、構造も同様のものである。しかし、コイル本体およびデュワーの体積は 100 kOe S C M に比し、ほぼ一桁大きく、発注当初はメーカー側でわかつていなかつたが、納入された実物は非常に大きく、全高 1.6 m、コイル重量約 75kg、全系の重量約 200kg、使用液体 He 1回当たり 65ℓ、液体窒素 200ℓ



第 6 図 150 kOe 超伝導マグネットの試運転

以上クエンチした時の蒸発 Heガス  $20 \sim 30\text{m}^3$  など、すべてにわたり物性実験者の常識からみれば怪物という感じがある。昨夏に生じた液化機の故障のため納入以来未だ2回しか運転していないが、いずれも予定された仕様通りの特性が得られた。運転技術上の重要な問題はほぼ解決したが、このSCMを置く場所のスペース、天井高さの適合するところがなく、目下は床面の低い旧高圧電子回折室（A棟 009）を借用している。しかしへリウムストレーデ容器の搬出入の不便、実験スペースの狭少などこのままではこのSCMを活用するのは困難である。この点に関しては上記3種のSCMを並列する超伝導マグネット実験室を研究所として計画している。ただ  $150\text{kOe}$  SCM は液体ヘリウムの大喰いである点は経常運転費の不足とつながっている。

$100\text{kOe}$  SCM は現在主に金属の磁気振動諸効果、マグネットプラズマ波や超音波の吸収・反射、半導体表面二次元電子系の量子輸送、高い  $H_c$  の超伝導体の研究などに用いられ、 $150\text{kOe}$  SCM は  $100\text{kOe}$  で不足する部分をカバーするために用いられようとしている。また  $150\text{kOe}$  SCM には極限環境として  ${}^3\text{He} - {}^4\text{He}$  希釈冷凍機をカップルさせ、 $20\text{mK}$ までの低温を併用すべく計画している。

## 文 献

- 1) 近角他：物性研だより **10** №2 p.1 (1970).
- 2) 近角・三浦・小黒・木戸：物性研だより **13** №4 p.1 (1973).
- 3) 三浦：物性研だより **14** №4 p.5 (1974).
- 4) 田沼・寿栄松：物性研だより，to be published.

## 短期研究会 “Vibronic Coupling” 報告

司話人代表 安 積 徹

近年、物理および化学の多くの分野（たとえば光吸収、発光、ESR、CD、MCD、ラマンなど）において Vibronic Coupling ということばで総括される種々の型の相互作用に関し、格段と精度の高い議論がなされるようになってきた。しかし、少々分野の異った研究者間の交流は必ずしも十分ではなく、他の分野での研究成果がなかなか把握できない状態にある。そのような現状にかんがみ、物理および化学の諸分野の研究者が一同に会し、それぞれの専門分野でみた Vibronic Coupling というものの研究成果や問題点を紹介しあうことが切望された。このような主旨で 1974年12月6日～7日の2日間にわたり、短期研究会を行なった。18の講演のすべてについて、約90人の出席者の間で熱心に討論が行なわれた。以下、それぞれの講演について簡単に紹介する。

### 1. Vibronic Coupling のまとめと問題点 —— 物理の立場から ——

(副題: Localized Electron Interacting with Lattice Vibrations)

東大物性研 豊 沢 豊

断熱近似を使って光吸収・発光帯形状の一般式を書き、多モード有限温度における光吸収・発光帯の具体的な形状を求める過程がまず reviewされた。説明途中で注目された点は、固体内部局を中心における電子格子相互作用は、局を中心が熱浴につかっているために分子の場合よりも簡単に取り扱えるという指摘である。

光吸収、発光形状の話につづき、ラマン散乱、特に共鳴ラマン散乱との関係が論じられ、さらに断熱近似の破綻が無輻射遷移を起こすことが説明された。最後に、吸収、緩和、発光の過程を統一的に取り扱う secondary radiation の理論が紹介された。ラマン散乱とルミネセンスとははっきり区別できるものではなく、緩和時間と励起状態の寿命とのかねあいにより連続的につながるものであることが指摘され、今後このようなことを意識した実験が積極的に行なわれるようになることが要望された。

## 2. Vibronic Coupling のまとめと問題点 ——化学の立場から——

東北大理 安 積 徹

Vibronic Coupling の意味を統一的に解釈するにあたり、種々のことばが異った意味に用いられている現状がものごとの理解を困難にしているという指摘にはじまり、たとえば一口に断熱近似といっても、大きく分けて3つの全く異った近似があることが紹介された。引きつづき、この問題に関連してしばしば用いられることは、たとえば「Dynamical Jahn-Teller効果」とか「nuclear motionの補正」といったことばもいろいろと誤解を招きやすい意味に用いられる場合があるとの指摘があった。最後に、全ハミルトニアンの解を求める場合の基底の選択に関して、非常に重要な、しかしまづかしい問題がある、ということが無輻射遷移の理論に関連して述べられた。

## 3. Vibronic Hamiltonian

金沢大理 青 野 茂 行

無輻射遷移のような Vibronic な問題に対して、物理的描像ができるだけ明確にすると同時に対角化を容易にするには、モデルハミルトニアンをどのように選べばよいかと言う問題について、Perlin の取り扱いが紹介され、さらにこのようなモデルハミルトニアンを使って無輻射遷移の遷移確率を近似的に計算する方法について、Nitzan, Jortner の取り扱いが紹介された。

電子波動関数として、断熱ポテンシャルの極小値からの核変位を摂動として一次摂動論から求まるものを用い、振動ハミルトニアンに含まれる規準座標を適当に変換することによって、多重フォノン遷移を伴う過程を記述できるハミルトニアンが作られる。このハミルトニアンを用いて無輻射遷移の確率を算出する方法が紹介された。

#### 4. 断熱近似と Born-Oppenheimer 近似の意味

東大薬平川暁子

まず「断熱近似」ということばについて、Born-Oppenheimer の原典、Born-Huang の著書、その他二、三の著名な人々がそれぞれどのような意味で用いているかの紹介があった。Born-Oppenheimer 近似ということばを用いている人は多いが、原典を読んだ人は少ないようでこの話は有益であったようである。ここでも正確な定義なしに断熱近似ということばを用いてはいけないという指摘がなされた。次に、いわゆる断熱近似の破れを示すものとして、Born-Oppenheimer, Coupling と Herzberg-Teller Coupling という 2 つの異った機構があり、それを実験的に区別する方法が例をもって示された。

#### 5. ヤーン・テラー効果と光吸收帯形状

東北大理那須奎一郎

縮退のない基底状態から縮退している励起状態への電子遷移による光吸收帯形状にはヤーン・テラー効果による構造が見出される。ここでは格子振動をきちんと量子論的に取り扱い、Independent Ordering Approximation (IOA) を使って、中間結合の場合に、 $A_{1g}-T_{1u}$  光吸收帯形状を計算する方法が説明された。計算結果は、従来説明できなかった低温での構造や非対称性が理解でき、IOA の有用性が明らかにされた。

#### 6. 動的 Jahn-Teller 効果

九大理小柳元彦

有機分子で非常に近接した 2 つの励起状態が存在する場合に、その 2 つの状態内の Vibronic Coupling の大きさに応じて Jahn-Teller 効果が期待される。ここでは、Jahn-Teller の安定化エネルギーが小さい、いわゆる動的 Jahn-Teller 効果の場合について、それがどのような条件で現われるか、どのような実験事実として現われるか、それをどのように解釈するか、ということが各種のアルデヒド分子を例として述べられた。

## 7. 2次の項を考慮した Jahn-Teller 歪み

宇都宮大工 村 松 伸 二

局を中心の場合には、ヤーン・テラー効果により非常に大きく歪んでいる例がいくつか知られている。ところが、ある場合には相互作用が非常に強く、高次の相互作用も無視できず、tetragonal か trigonal かいずれかの歪みが起こっているとしては理解できない実験事実がある。ここでは、 $T_{2g}$  モードのみとの相互作用を考え、離れた励起状態と相互作用する2次のオーダーの振動を考慮して、1次の範囲内では鞍点である orthorhombic な歪みが trigonal な歪みと共存し得ることが明らかにされた。

## 8. Pseudo Jahn-Teller 効果による有機分子の歪み

東北大理 中 島 威  
山形大教養 豊 田 東 雄

非ベンゼン系芳香族炭化水素では、分子対称性が、共鳴理論等によって推定される対称性よりも低下している場合がしばしば見られる。この理由の解明を Pseudo Jahn-Teller 効果の立場からこころみた。その結果、「ある分子に対して考えうる最高の分子対称性を仮定して計算された最低励起エネルギーが約 1.2 eV よりも小さい場合には、ある非対称振動の力の定数が負になり、分子対称性の低下が起こる。非対称振動の型は、遷移密度の分布から推定することができ、多くの場合結合交替をもたらすようなものである」と言う一般則が得られた。

## 9. F 中心の緩和励起状態 — 実験的側面 —

東大物性研 近 藤 泰 洋  
神 前 熙

緩和励起状態についての実験事実、すなわち、吸収が許容遷移であるのに発光の寿命が長いこと、ルミネセンスによぼす外場の影響、ESR、ENDOR、発光の寿命の温度変化等が紹介された。次に、緩和励起状態から更に高い励起状態へのフォノン構造が分離された見事な吸収スペ

クトルについてゼロ・フォノンは  $3\ p$ ,  $3\ d$  への遷移によるものであろうと説明された。ゼロ・フォノンが見出されることから明らかのように、基底状態と比らべると電子・格子相互作用が弱い。電子軌道は広がっているから、クーロン・ポテンシャルにつかまつた格子ポーラロンに近いが、軌道半径とポーラロン半径とが近いので通常のポーラロン理論では不十分であろうとの説明がなされた。

## 10. F中心緩和励起状態の vibronic な問題

東大物性研 萱 沼 洋 輔

緩和励起状態を記述するモデル・ハミルトニアンを設定し、数値的に対角化して様々な実験結果との比較を行ないパラメータを適当に決めると、現存する全ての実験事実を矛盾なく説明できることが示された。すなわち、緩和励起状態の最低エネルギー状態はS様であるとし、LOフォノンによる  $2s - 2p$  状態間のバイプロニックな混りを考慮すれば、発光帯の零次モーメントに関する実験（Stark偏光度、Zeeman偏光度、寿命の温度依存性等）が説明できる。

## 11. カドミニウム・ハライド中の $\text{Ag}^{2+}$ および $\text{Cu}^{2+}$ 中心の Jahn-Teller 効果

京 大 理 神 野 賢 一

E電子状態と  $\epsilon$ 振動モードとのヤーン・テラー効果について、ヤーン・テラー歪の熱的再配向の機構が系のバイプロニック・エネルギー・レベルに関連づけ説明された。すなわち、 $[\text{Ag}^{2+} \text{Cl}_6^-]^{4-}$  擬似分子について、ある配向のヤーン・テラー歪が他の2つの配向のいずれかへ再配向する単位時間当たりの確率Wを温度の関数として求めた。低温において2色性の減衰過程を透過光強度の測定により追跡して求めたWは、高温においてESRの解析から求めたWと一見矛盾するが、この矛盾は O'Brien, Williams らによるバイプロニック・エネルギー・レベルにより一応解決できることが示され、レベルの有用性が明らかにされた。

## 12. ラマンスペクトルと Vibronic Coupling

東北大理 伊藤光男

ラマン散乱の基本式である Kramers - Heisenberg の分散式において、分子の波動関数を Herzberg - Teller 展開を行なうと、分子の非全対称振動のラマン強度は励起電子状態間の Vibronic Coupling に関係することが分る。非全対称振動のラマン強度が Vibronic Coupling を反映することがピラジン分子を例として紹介された。種々の分子についての実験結果から、ラマンスペクトルは励起電子状態間の Vibronic Coupling を忠実に反映していることが示された。

## 13. CDスペクトルにおける Vibronic Interaction

阪大理 花崎一郎

円偏光 2 色性のスペクトルの解釈にも Vibronic Coupling の効果を取り込むことが必要であるとの指摘がなされた。CDスペクトルは一般に振動構造が顕著ではないので、Vibronic Coupling の解析は容易ではない。しかし、ビフェニルの誘導体についての計算結果はかなりスペクトルを再現することができたことが紹介された。さらに Vibronic Coupling の機構についても論じられた。

## 14. Duschinsky 効果とスペクトル形状

名大理 垣谷俊昭

電子スペクトルの形状を求める場合、振動の規準座標が基底状態のそれに比べて回転している Duschinsky 効果は多くの場合無視されている。ここでは、 $\beta$ -カロチンなどの生体関連分子の電子スペクトルの形状の計算に際し、この Duschinsky 効果を積極的に取り入れた試みが紹介された。

## 15. Born-Oppenheimer Coupling と輻射遷移

北大応電研 馬場 宏明

従来、禁制遷移に関する intensity borrowing の問題は、Herzberg-Teller 展開でもって考えられるのが慣わしであった。しかし、核の運動エネルギーの演算子による項も非常に重要な役割を果すことが指摘された。従来の Herzberg-Teller Coupling に対し、新しく考えた機構を Born-Oppenheimer Coupling といい、2つの機構の間の関連性や実験的に区別する方法が論じられた。

## 16. 分子内無輻射遷移の理論の最近の進歩

東北大理 藤村 勇一

熱浴のない孤立分子における無輻射遷移の理論的な取り扱いの最近の進歩が review された。次にスピン多重度の等しい状態間の無輻射遷移、すなわち internal conversion を取り扱う場合の基底の選択について、特に Born-Oppenheimer 基底と crude adiabatic 基底の2つについて問題点が論じられた。

## 17. Off-Fermi rule の場合の無輻射遷移

近畿大理工 高橋 純一

従来の分子内無輻射遷移理論では、統計的極限として Fermi の黄金則を適用した場合が大部分であった。しかし、比較的小さな分子においては、無輻射遷移の終状態の密度が小さく、Fermi の黄金則を適用できない。そのような場合における一般的取り扱いの試みが発表された。

## 18. $Tl^+$ 型螢光中心における無輻射遷移

長崎大教養 福田 敦夫

最低および第2の励起状態に関し、tetragonalとtrigonalなヤーン・テラー歪が共存するところ、静水圧による発光スペクトルの顕著な変化から結論された。両歪からの発光強度比を測定すると、同一吸収帯内でも比が励起波長に依存する。このことは、phase randomizationによる ${}^1T_{1u}$ 状態内での緩和が完了する以前に ${}^1T_{1u} \rightarrow {}^3T_{1u}$ 無輻射遷移が起こっていることを示していると指摘された。

## 短期研究会報告

### 『一次元導体の理論』

開催期日 1974年 12月 9～11日

場 所 物性研 A棟 6階輪講室

司話人 恒藤敏彦，長岡洋介，  
中嶋貞雄

出席者 約 30名

HeegerたちのTTF-TCNQの実験に刺戟されて一次元導体の研究が活発であるが、この研究会は実験にあまりこだわらず、理論の問題点について討論することを目的として開かれた。したがって、出席者はこの問題（およびこの問題と関連の深いもの）に直接関係している理論家に限られた。また、プログラムも、以下のべる4つのReview talkとこれに続くコメント、討論という形式を採用した。その概要を記すが、かなり自由な討論が中心であったので、筆者たちの主觀によってまとめたことをおことわりしておく。（文責：栗原康成、中嶋貞雄）

### A 4つのReview talk および議論

### 『一次元電子系の厳密解』

高橋 実

一次元の厳密に解ける場合として、 $r^{-2}$ ポテンシャルの場合とデルタ函数ポテンシャルの場合が紹介された。前者においては、Jastrow型の波動函数が厳密にハミルトニアンの固有状態になり、基底状態エネルギーを計算することができる。又、後者の場合は、ハイゼンベルモデルの場合と同様 Bethe 仮説の方法を使って解く事ができる。基底状態エネルギーはもとより帯磁率比熱等の熱力学的量も計算する事ができる。又、一次元 Hubbard モデルについても Bethe 仮説を使って比熱帯磁率が計算されている。特に half-filled 状態において比熱は低温において温度に比例し、かつその比例係数は帯磁率に比例している。又この比例係数は相互作用の強さ U の函

数として  $U = 0$  で不連続である。

しかし Bethe 仮説の方法では、相関函数を計算する事はむずかしく、そのため基底状態がどの様な状態になっているかを知る事はできない。一次元 Hubbard model で自由エネルギーを求める時に Bethe 仮説が使えるか、一次元 Hubbard model の基底状態が反強磁性状態であるのかなどが議論された。

## 『近藤効果への縫込み群の応用』

吉 森 昭 夫

縫込み群の考えが近藤効果の研究に持込まれたのは Anderson - Yuval - Hamann, Anderson の scaling law の話、Fowler - Zawadowski, Abrikosov - Migdal の縫込みの標準的な方法を用いるものに始まるが、摂動論の範囲にとどまり不变結合常数が大きくなつて理論の内部矛盾をきたし、思わしい結果は得られていなかつた。scaling law が成立し、高温で弱結合である系が低温では強結合の領域に入るという、正しいと思われる主張はなされてゐた。Wilson (Nobel Symposia, "Collective Properties of Physical Systems", 24 (1973) 68 (Academic Press)) は系の自由度を有限にし自由度を大にすると強結合に近づくような S-d 系の Hamiltonian を導入し、数値計算の結果にもとづいて、低温で正しい擬ボテンシャルを定め、0K 近傍での系の性質を求めた。すでに知られているこの系の基底状態が singlet になり帶磁率  $\chi_{\text{imp}}$  が  $\mu^2 B / T_K$  で与えられるというように加えて  $T \rightarrow 0$  の極限で比熱について  $C_{\text{imp}} / \chi_{\text{imp}} T$  が自由電子の値の  $1/2$  になるという重要な結果に到達した。(この項 筆者吉森)

## 『一次元電子系への縫込み群の応用』

木 村 実

一次元系においても Hartree - Fock 近似を使えば long range order が現われるが、特殊な一次元系を除けば、有限温度で long range order が存在しない事が厳密に証明されている。縫込み群の方法を使えば少なくとも有限温度では応答函数が一次元系でも発散しない理論が展開できる。2つの Fermi 点を結ぶ相互作用  $g_1$  および小さな運動量のやりとりの二体相互作用  $g_2$

を持つ電子系モデルに対して緯込み群を使い、 $T \rightarrow 0$ における種々の応答関数のふるまいの計算結果が報告された。(Umklapp相互作用を考慮すると結果が少し変化する)。得られた定性的結果は一部を除いて厳密解と矛盾しない様ではあるが、 $g_1 < 0$  の場合は invariant charge が 1 より大きくなり理論自身が consistent ではないので、緯込み群の有用性に対する多くの疑問が出された。この場合緯込み群の結果が定性的にも意味があるのかないのかは、今後の問題である。又  $T \rightarrow 0$ における応答関数が発散したからと言って、 $T = 0$ でそれに対応する long range order が存在する事は保証されていない事が指摘された。

## 『実在の一次元電子系』

福山秀敏

### (イ) TTF-TCNQ

種々のTCNQ塩の構造や、有名な Heeger グループの伝導度異常のデータが紹介された。Bell グループの Heeger グループの実験に対する批判はあるが、室温附近のデータでも明らかな様に Heeger グループ結晶の純度の方が良く(一次元伝導系では結晶の純度が drastic である)，批判に耐え得るのではないかと報告された。

### (ロ) KCP

TTF-TCNQ では Peierls 転移を示唆する結晶の構造変化の直接的なデータは無いが、KCP ではフォノン分散の Kohn 異常及び超格子構造を意味する様な X 線のデータがある。又 TTF-TCNQ の伝導には  $\pi$  電子が寄与しているが、KCP で  $\alpha$  電子が伝導に寄与している。

### (ハ) 高磁場中の Bi 及びその他

高磁場中の Bi が excitonic 転移を示している様な超音波吸収のデータが紹介された。又一次元有限系の話として視覚の素過程の話も出た。

## B 議論を引き出すために準備された話

最初の Review talk の後、half-filled band の Hubbard ハミルトニアンにおいてどちらか一方のスピンを持った消滅演算子と生成演算子の定義を入れ変えると、このハミルトニアンは

相互作用の符号だけが変化し、物理量の方は異なった量を定義するものになる。従って、+の符号の相互作用のハミルトニアンにおいて、あるオーダーパラメータが存在したとすると、-符号の相互作用のハミルトニアンにおいては異なったタイプのオーダーパラメータが存在しなければならない事になる。これらの結果は例えば縫込み群を使って得られた応答函数の結果の consistency をためすのに有用である事が指摘された（長岡）。又、木村氏の review の後恒藤氏等によって開発された skelton 展開を使ってこの review と同じモデルが議論された。結果は縫込み群の方法と同様で、 $g_1 < 0$  に対して invariant charge が 1 より大きくなり、理論の適用範囲に制限ができた（大見）。福山氏の review の後、Peierls 転移の問題として phonon の softening を正しく議論するためには、中途半端な電子格子ハミルトニアンから出発するのではだめで電子間相互作用を考えながら始めから Phonon を作りなおさなければならぬ事が指摘された（栗原）。又、絶対  $0^\circ$  においてさえクーロン相互作用の様な long range 相互作用がある場合には、必ずしも Peierls 転移があるとは限らないことが指摘された（齊藤）。

輸送現象に関しては、体系が coherent な Phase を持つ場合、その体系が何らかの意味で超流動を示すか否かは、その系に Phase を固定する様な相互作用が存在するかしないかが本質的であり、いわゆる diagonal long range order の場合には、いつもそのような摂動が存在することが指摘された（長岡）。これらの問題は今後の問題であろう。最後にパインエルス転移にともなう fluctuation を最低次の範囲内で考慮すると電気伝導が増加する Patton-Sham の結果が報告された（鈴村順三）。この結果に対する物理的な理解はまだ良く解っていない。

## 短期研究会「半導体の高効起効果」

世話人代表 塩 谷 繁 雄

昭和50年1月9日(木)～11日(土)にわたって、表題の短期研究会が、物性研究所にて開かれた。この分野の研究が、この数年、国内外で盛んに行なわれているが、単なる流行問題として終らせないために、今迄行なわれて来た研究を深く討論しあい、問題点を掘り起こし、将来の展望を探る目的で、この研究会が催された。以下順を追って発表者にまとめてもらった要旨を並べる。

1月9日(木) 午後1:30～(45分)

### 「励起子分子の光応答」

花 村 榮 一 (東大・物性研)

励起子分子の関係する光学現象として、① 励起子分子からのルミネッセンス、② 一光子吸収に伴う励起子分子への光学変換、③ 二光子吸収で励起子分子を生成する巨大二光子吸収、が期待され、又観測にかかりつつある。そこで、CuCl, CuBr, CdS, CdSe の励起子分子の電子構造を調べ、更に、この三つの光学現象の選択則、微細構造、強度比及び偏光特性を理論的に示した。又これらの光学測定から励起子分子の電子構造がどの様に読みとれるかを論じた。

" 午後2:30～(45分)

### 「励起子分子に関する実験」

上 田 正 康 (東北大・理)

1970年に Souma, Gotoらが、レーザー光励起によって起こる非線型発光帯の line shape の解析から、励起子分子の存在を CuCl について、はじめて実証したといえる。発光の過程は、分子を作る2箇の励起子の中1箇を残し、他が radiative に decay するものである。CuBrについても最近励起子分子の存在が明らかとなった。CuCl, CuBrとも、結晶の帶間遷移に相当するエネルギーのレーザー光によって、自由電子と正孔の対を作り、励起子→分子となるため、励起子分子はマックスウェル分布している。最近花村は、 $h\nu = E_x - \frac{1}{2}E_m^b$  (  $E_x$  は励起子のエネルギー、 $E_m^b$  は分子の結合エネルギー ) によって巨大二光子吸収が起こり、直接分子が作られることを期待した。長沢、中田、土井らは CuCl, CuBr について、花村の期待通りに直接分

子を二光子吸収で作り得ることを示し、且つ分子が  $K \neq 0$  にて Condense したとして説明できる  
するどい発光線を見出した。

" 午後 3 : 45 ~ ( 45 分 )

## 「励起子分子に関する実験」

塩 谷 繁 雄 ( 東大・物性研 )

演者のグループで行なっている II-VI 族化合物における高密度励起子の実験的研究に関して、  
最近得られた 3 つのトピックスを紹介した。 (1) CdS の高励起下の発光スペクトルとそれに  
対する磁場効果から観測される単一励起子の一重項および三重項状態の励起子間相互作用による  
混合 ( 岡, 榎田 )。 (2) 高励起下の CdS における単一励起子から励起子分子への遷移による  
吸収線の観測 ( 黒岩, 斎藤 )。 (3) 高励起下の ZnO における励起子分子によると推定される  
発光線の観測 ( NHK 基礎研, 宮本 )。

1 月 10 日 ( 金 ) 午前 9 : 00 ~ ( 30 分 )

## 「サイクロトロン共鳴の立場からみた液滴と励起子」

大 山 忠 司 ( 阪大・教養 )

マイクロ波のエネルギーは液滴のプラズマ振動エネルギーや励起子の励起エネルギーに比べて  
非常に小さい。従って通常ではマイクロ波は液滴や励起子と直接結合できない。そこでそのまわ  
りをとりまく自由電子をモニターとして液滴や励起子の様子を探る。

- 1) 液滴に対する束縛エネルギーはバンド構造に大きく依存している。特にゲルマニウムでは  
many-valley nature や valence band の複雑さが液滴の安定性に有利な役割を果たして  
いることが理論的に予測されている。これを実験的に確かめるために一軸性ストレスを加えて  
バンドの対称性を変化させ、その反応を見る。
- 2) 電子、励起子、液滴に大きな濃度勾配を持たせた時にどのような動きをするか( ? ), を電  
子のサイクロトロン共鳴の吸収強度と線幅の解析から議論する。

" 午前 9:45~(15分)

## 「半導体中の電子・正孔と励起子の共存系」

渡辺 剛 (東北大・理)

電子・正孔と励起子の共存系に熱平衡、化学平衡を仮定する。それぞれ粒子の濃度  $n_e$ ,  $n_h$  ( $= n_e$ ),  $n_{ex}$ , 励起子の束縛エネルギーを  $B$  で表わすと,  $p_e = \alpha \left[ (1 + 2\frac{p_o}{\alpha})^{\frac{1}{2}} - 1 \right] \equiv p_e(p_o, B)$  .....(1) の関係が成り立つ。但し,  $p_{e,o} = \frac{4\pi}{3} r_o^3 n_{e,o}$  ( $r_o$ : 励起子半径,  $n_o = n_e + n_{ex}$ ),  $\alpha = \frac{1}{3\sqrt{2\pi}} \left( \frac{\epsilon_o}{kT} \right)^{-\frac{3}{2}} \exp \left( -\frac{B}{kT} \right)$  である。一方, e-h 間の相互作用として Debye-Hückel 型の遮蔽クーロンを考えると,  $\frac{2n_e}{n_{ex}} > \frac{kT}{B}$ ,  $\frac{kT}{B} < 1$  では励起子の遮蔽効果は無視できるから,  $B$  は  $B = B(p_e, T)$  .....(2) で与えられる。ある温度で  $p_o$  をパラメーターとして, (1), (2)式をプロットして, その交点から  $p_o$  に対する  $p_e$  の Self-consistent な解を求める。異った温度に対する  $p_e$  vs  $p_o$  を図示すると, 低温では S 字型の変化を示すことがわかる。一方高濃度になって  $k_s \gtrsim 1$ , 即ち  $6 \left( \frac{6}{kT} \right) p_e \gtrsim 1$  になると  $B = 0$  となるから  $p_e = p_o$  となる。

" 午前 10 時 15~(30分)

## 「Excitonic Polaron その後」

大塚 順三 (阪大・教養)

高励起子の Ge におけるサイクロトロン共鳴を, 時間分解法で調べると, 電子・正孔液滴のマグネットプラズマ共鳴の外に, われわれが仮にエクストニック・ポーラロンと名付けた準粒子によると考えられる共鳴が観測されることはすでに何度か報告した<sup>1-3</sup> ところが一方では, 問題の共鳴は, 液滴というプラズマ球中に定在波が立つことによる共鳴吸収 (ディメンジョナル・レゾナンス) だという解釈がある<sup>4</sup>。この理論自体は間違っていないであろうが, われわれが観測したものは, それとは別物であると考えざるを得ない。その実験的根拠を説明する。

1. E. Otsuka, et al.: Phys. Rev. Letters **31** (1973) 157.
2. E. Otsuka, et al.: J. Phys. Soc. Japan **37** (1974) 114.
3. M. Engineer and S. S. Jha : Solid State Commun., **14** (1974) 1149.
4. H. Numata : J. Phys. Soc. Japan **36** (1974) 309.

" 午前 11 : 00 ~ ( 15 分 )

## 「液滴内の magneto-plasma 波の Dimensional Resonance 」

沼 田 裕 ( 東 大 ・ 工 )

上記の大塚穎三氏らのグループによって観測されたサイクロトロン共鳴吸収に現われる奇妙なピークを電子・正孔液滴の存在を仮定して説明した。液滴を自由な電子・正孔からなる球形のプラズマと考え、マイクロ波が液滴によって散乱される際、液滴内に励起されるプラズマ振動によるエネルギーの吸収を考える。球内の電磁場のモードを求めるのに Cardona らが用いた近似式を採用し、吸収の断面積を求めるに球内に定在波が立ついわゆる Dimensional Resonance の起こる条件の時に吸収の極値が生ずる事がわかる。液滴による吸収量を静磁場の関数として計算すると、液滴の半径を適当に選べば ( $a \leq 8 \mu\text{m}$ )、実験結果と同じ磁場の値で吸収のピークが生ずる。その他定性的な点は実験データを非常によく説明する事ができる。しかし定量的な面(吸収強度の時間変化など)ではこの計算だけでは説明がつかず、液滴の存在を結論する事はできない。

" 午前 11 : 30 ~ ( 30 分 )

## 「高励起下における Ge の遠赤外共鳴吸収スペクトル 」

西 田 良 男 ( 阪大・基礎工 )

遠赤外分光が光励起下で存在する電子、正孔、励起子、液滴の挙動を研究する有効な実験手段となることを具体的に示し、それから引き出せる知見を説明した。

先づ光励起下で試料に磁場を作用させて、遠赤外吸収を測る時現われるスペクトルを考察した。電子・正孔はサイクロトロン共鳴で、励起子はゼーマンスペクトルとしてとらえられる。また液滴は球状磁気プラズマと考えて光学的性質が予想される。即ち、(1) Rayleigh 極限での磁気プラズマ共鳴、(2) Dimensional 共鳴、(3) De Haas - Shubnikov 形の磁気振動形の吸収変化。

測定は、遠赤外レーザー光源を用いゲルマニウムについて行なった。それによって得られたスペクトルと上記予想との対応関係を明らかにした。さらに、液滴の特徴を表わすスペクトルに注目することにより、励起子と液滴の平衡に関する物理量(液滴存在のしきい値、仕事関数)が得られることを指摘し、今後発展させるべき問題を述べた。

## コメント 「Ge の遠赤外共鳴」

藤井克正（阪大・教養）

高効起下、ヘリウム温度での遠赤外光の透過スペクトルでは、ドロップのマグネットプラズマ吸収、エキシトンレベル間遷移が観測される。遠赤外光としては、119, 337, 172, 84  $\mu\text{m}$  のレーザの発振線が使われた。マグネットプラズマ吸収の線幅はキャリアーキャリア散乱が主に効いてきて、だいたい

$$\frac{1}{r} \sim r_0 (k_B T)^2 \left\{ 1 + \left( \frac{\hbar \omega}{2 \pi k_B T} \right)^2 \right\} \quad r_0 \sim 10^{41} \text{ erg}^{-2} \text{ sec}^{-1}$$

で表わされる。共鳴位置からドロップ中のキャリア濃度と、重い正孔の分布比が求められる。更に 337  $\mu\text{m}$  ではインダクションサイクロotron 共鳴が観測され、時間分割法で調べられた。84, 119  $\mu\text{m}$  の波長に対しては、電子-正孔液滴中のフェルミ準位がランダウ準位をよぎるとき吸収に極小が観測され、これから電子-正孔液滴中のキャリア濃度が  $2.2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  と求められた。

" 午後 1:30 ~ (30 分)

## 「pure 及び As をドープした Ge の発光と光伝導」

森垣和夫・中村新男（東大・物性研）

pure な Ge の光伝導と発光、及び As をドープした Ge の発光に関する実験結果を報告した。

pure な Ge の発光スペクトルの観測から、励起強度あるいは光励起後の観測時間を変える事によって試料全体に液滴の状態を実現し、更に高密度な電子-正孔液体が生成される事が明らかになった。

光伝導の過度現象を観測すると、電流波形は 2 つのピークを持つ。これらのピークの与える電気伝導度の電子-正孔対密度依存性は Rogachev が報告したような Plato を示さない。また、この電流波形に重畠してパルス状の巨大揺動電流が観測された。これは静電場によって液滴がドリフトする事を示し、印加電圧の極性に対する依存性から液滴が全体として負に帯電している事がわかった。

$2 \times 10^{14}$  から  $4.9 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  の As を不純物として含む Ge の発光スペクトルを測定した所、 $N_D \lesssim 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  では、金属領域の試料でも液滴が安定に存在する事がわかった。

" 午后2:15～(30分)

## 「高励起下における Si の発光」

小林 融 弘 (阪大・基礎工)

Q-スイッチのルビーレーザーで高励起したシリコンからの発光を時間分解したスペクトルが4.2Kと20Kで得られた。4.2Kでは通常の液滴による発光線より高エネルギー側に新らしい成分が成長する。この成分は液滴の発光よりも速く減衰する。20Kでは新らしい成分が単独に観測される。その上自由励起子の発光強度は励起直後よりも1.5μ秒遅れて最大に達し、同じ頃新しい成分は消滅する。従って励起子直後では新らしい成分の源のみが形成され、蒸発によって励起子が放出されると考えられる。新らしい成分のスペクトルが伝導帯・価電子帯の状態密度の積で決まるとして担体密度を決めると、液滴内の密度より大きな値が得られる。以上から新しい成分は、普通の液滴に比べて大きい担体濃度をもった電子-正孔液相が結晶表面に一様に拡がり、その部分が発光していると結論される。

## コメント 「遠赤外分光による高励起Si の研究」

成田 信一郎 (阪大・基礎工)

今まで電子-正孔液滴の研究はGeに対しては種々の方向からなされてきたが、Siに対しては大部分が近赤外の luminescence によるものに限られてきた。Directな液滴の研究はEcole Normale Group, Siのp-n Junctionによる photovoltaicな効果に限られている。このような視点で、まづ遠赤外におけるプラズマ振動の発光、吸収の実験を始めた。

$\omega_p/\sqrt{\epsilon}$  を計算すると Si では波長 40～44 μ あたりに peak をもちそうである。色々 Si に対して測定の困難がある。現在、確かに発光があり、波長として 30～70 μ の間に大部分の発光があること分っているので、干渉分光計でスペクトルをとろうとしている。シグナルが少し足りないので、それを増す努力をしつつある。

" 午后 3:15 ~ (30 分)

## 「 Ga As の高励起下の発光 」

櫛 田 孝 司 (東大・物性研)

極低温で高純度 Ga As 結晶を光照射した場合の発光スペクトルについて次の結論を得た。

- (1) 数  $10 \text{ W/cm}^2$  以上の励起では励起子-自由担体間の衝突による発光がみられ、そのスペクトルから自由担体の有効温度が知られるが、これは格子温度より高い。(2)  $10 \sim 100 \text{ kW/cm}^2$  程度の励起の下では新しい発光帯が支配的となるが、そのスペクトルが任意パラメータなしの理論曲線とよく一致することなどから、これが励起子間衝突によることは間違いない。(3) 数  $100 \text{ kW/cm}^2$  以上の高励起下では金属的な電子・正孔液相が実現され、これから発光ならびにそのプラズモン側帯と考えられる発光がみられる。(4) 二つの波長域で光增幅効果が見出されたが、これらは励起子間衝突ならびに電子・正孔液相からの誘導発光によると考えられる。(5) 大信号に対する增幅利得スペクトルの計算から、信号出力の増大に伴う誘導発光帯の長波長側へのシフトや波長に依存した增幅利得の飽和効果が説明できる。

" 午后 4:00 ~ (30 分)

## 「 Te の光伝導と発光 」

仁科 雄一郎, 宮内 秀和 (東北大・金研)

Te は、バンドギャップの小さい直接遷移型の物質であるにもかかわらず、特異なバンド構造を持っているため、弱励起では間接遷移的な状態にあり、エキシトン効果が観測されている。十分強励起では、直接遷移型の電子・正孔液体状態が実現されるものと思われる。

以上のことと光伝導、発光測定により調べた。内容は、○発光スペクトル ○電場下の発光  
○ line shape の計算結果との比較 ○発光の励起強度依存性 ○光伝導測定の異常 である。

弱励起で励起子系(不純物を含むかも)によるとと思われる発光が  $333 \text{ meV}$  に観測された。

さらに強励起( $100 \text{ kW/cm}^2$  以上)で、低エネルギー側に新たな発光が見られた。この発光は励起強度とともに  $1 \text{ meV}$  近くレッドシフトし、発光スペクトル幅も増大する。line shape, 光伝導の変化等から現在のところ、この発光は直接遷移型の電子・正孔液体によるものと考えている。

" 午后 4:45 ~ (20分)

## 「層状半導体における二次元電子・正孔液滴の理論」

倉 本 義 夫 (東大・理)

価電子帯・伝導帯共に二次元的になっている層状半導体の高励起状態は、多体系としての興味に低次元系としての興味が加わり、Ge や Si にはない特徴を備えている。これらのうち比較的研究の進んでいる Ga Se では間接二次元励起子による吸収スペクトルが報告されている。電子・正孔の金属状態の凝集エネルギーを交換補正した RPA で計算すると、二次元励起子よりも安定になり得ることが示せる。この場合、ある励起強度の範囲で各層毎に disc 状の金属状態部分が形成される。これを electron-hole pancake と呼ぶ。異なった層にある pancake 間相互作用は van der Waals 的であり、凝集エネルギーに殆んど影響しないが、これらが寄り集まって存在する可能性もある。pancake の二次元的形状は光散乱によって直接検証できる筈である。即ち、結晶の C 軸を入射光線に一致させると、散乱光の角分布は三次元の drop と殆んど同じだが、C 軸を傾けると drop と異なり散乱角に異方性が生じる。

## コメント 「一軸性応力下の Ge に於ける 電子・正孔液滴の形状について」

森 本 正 倫 (東北大・理)

高励起の Ge に於ては、 $<111>$  方向に 1~2 k パールの一軸性応力を加えた場合に、有効質量の異方性の効果が液滴の表面張力の異方性となって現われ、その結果液滴が歪み、偏円体となるという予測をたてた。この場合、すべての液滴の短径方向は  $<111>$  方向に平行にそろっていふと考えられる。密度汎函数の方法を用いて最も簡単な近似の範囲で、長径と短径の比を 2:1 と評価した。この歪は光散乱の実験で測定可能である。

1月11日(土) 午前9:30~(30分) (会場: 会議室)

## 「高励起下のフレンケル励起子」

講演者: 武野正三(京都工芸繊維大)

通常の二準位原子模型は相互作用をしない原子系と輻射場との相互作用を記述する場合に広く用いられているが、ここでは多重極相互作用をする原子系と輻射場との相互作用を考える。このモデルに対応するハミルトニアンを作り、このハミルトニアンの近似解より、非線型励起子およびポラリトン、自己誘導透過、ソリトン・モード等の非線型現象、および励起子のコヒーレント状態とボース凝縮を論じた。

午前10:15~(30分)

## 「高励起下の相互作用系」

講演者: 菅野政暉(東大・物性研)

相互作用のない二準位原子系と放射場が結合した系の固有状態は Dicke の協力量子数  $r$  で指定され、 $N$  原子系では  $N/2$  原子を励起した  $r = N/2$  状態からの自然放射強度が  $N^2$  に比例する(超放射)。相互作用のある二準位原子系と放射場が結合した系では一般に  $r$  は量子数にならないが、或る場合には原子間相互作用によって別種の協力量子状態が作られ、そこからの自然放射強度が  $N^p$  ( $1.5 \leq p \leq 2$ ) に比例することを示す(中村)。更に適当な条件の下では無放射遷移を利用してこの状態が実現できることを論じる。取扱われる対象は、原子間相互作用に較べて放射場との結合が弱いと考えられるもの(例えば磁性体)で、理論的処理が可能な一次元格子に限る。又、このような系で高励起が緩和すること無しに伝播する場合、適当な条件の下でソリトン的な伝播が可能であることを示す(中村・佐々田)。

" 午前 11:15 ~ (45 分)

## 「高励起下での二、三の非線型効果」

仁科 雄一郎, 黒田 規敬, (東北大・金研)  
後藤 武生, 八代正昭,  
阿武 秀郎

層状半導体 GaSe および, PbI<sub>2</sub> について誘導放射および束縛励起子よりの発光の MCD  
(磁気)円偏光二色性の実験的解析を行なった。

### i) GaSe の誘導放射発光 (黒田, 仁科)

$\gamma$ -,  $\epsilon$ -GaSe を Nd-YAG レーザー光でパルス照射した場合の Photoluminescence スペクトルで自由励起子線より  $2 \times (\text{TO音子エネルギー}) \approx 50 \text{ meV}$  低いところにあらわれる誘導放射線の解析を行ない, 自由励起子が,  $2 \times \text{TO音子}$  を放出して再結合する過程がその主原因であることを確かめた。

### ii) PbI<sub>2</sub> の誘導放射発光 (八代, 後藤, 仁科)

$2\text{H}-$ ,  $4\text{H}-$ , および両者の混合した PbI<sub>2</sub> を N<sub>2</sub> レーザーで照射した (4.2K以下)。同じ層状半導体でもこの物質よりの誘導放射線は, Gainスペクトルの解析よりみて, 自由励起子-1LO音子の Polariton 状態が関係していると思われる。

### iii) GaSe における中性アクセプター (又はドナー) に束縛された励起子の Hopping (黒田, 阿武, 仁科)

中性不純物中心に束縛された励起子発光線の磁気円偏光二色性を外部磁場の関数として測定すると, 励起子の Random Hopping 運動に対応すると思われるスピン緩和時間のスペクトルが観測された。

" 午后 1:15 ~ (30 分)

## 「量子凝縮 (Frenkel 励起子を例として)」

中嶋 貞雄 (東大・物性研)

量子凝縮はいくつかの系でおこる可能性があるが, 花村氏の提起した基本的問題として超流動性との関係がある。例として二準位原子系を考え, 励起状態を上むきアイソ・スピンで表示し, その transfer を XY面内で等方的な交換相互作用で表示すると, He<sup>4</sup> の松原・松田模型と同

型になる。励起子凝縮はXY面内でのスピン整列で表示され、その方向が場所的に変化していれば励起子の超流動がおこる (Josephson効果)。実は、transferとして例えば双極子相互作用に対応するものを考えると、これを表示するスピン交換相互作用はXY面内で異方的になり、自発スピンの方向は固定されて Josephson効果の可能性は消失する。これに対し、He<sup>4</sup>の松原・松田模型におけるXY面内の等方性はゲージ不变性の表示で絶対的である。これは、長岡氏が最近指摘した重要なポイントである。

午後 2:00～(30分)

## 「励起子系の凝縮相」

堀江忠児(東北大・工)

励起子は厳密な意味ではボーズ粒子ではなく、また高密度領域では、励起子と電子・正孔、或は励起子間の衝突が重要となる。従ってあらわに励起子という準粒子を導入することなく、電子・正孔のフェルミオン系の問題として励起子凝縮の問題を論じる。高密度励起状態が一つの熱平衡系であると仮定できる場合には、系の凝縮は、超伝導における場合と形式的に類似な表式で論じることができて、この凝縮は電子・正孔間の引力による一つの凝縮相であるととらえられることができが示される。

また励起子凝縮が、電気伝導度にどのように反映されるかを論じる。特に、この励起状態が、単色レーザー光によってコヒーレントに支えられている場合には、励起された電子・正孔対濃度を増していくとき、電気伝導度に或る種の異状が期待されることが、定性的に示される。

## 物性研談話会

日 時 昭和 50 年 2 月 3 日 (月) 午後 4 時～

場 所 A 棟 2 階 輪講室

講 師 森 垣 和 夫

題 目 半導体における電子・正孔液体

1968年, Keldysh によって, ゲルマニウムのような結晶に液体ヘリウム温度域で光励起によって電子と正孔をつくると, それらは密度の低い時は励起子として, 高くなると電子・正孔液体として空間的に凝縮するであろうと予言された。このような変化は励起子ガス・液体相転移とみなしうるが, その後の多くの研究によって, そのような考え方の正しさが裏づけられている。ここでは, そのような理論的, 実験的発展の概略を更に電子・正孔液体について私どもの研究室で行なわれている発光, 光伝導の実験を中心にお話ししたい。

また, 上記のような研究は, 不純物をドープしたゲルマニウムについてもなされ, 正孔によって僅かに補償された電子ガスと電子・正孔液体の二相共存の実現が実験的に示されている。それについても述べてみたい。

日 時 昭和 50 年 2 月 7 日 (金) 午後 4 時～

場 所 A 棟 2 階 輪講室

講 師 Jean-Louis Calais  
( ウプサラ大学量子化学研究所副所長 )

題 目 Research in Solid State Theory in the Upsala  
Quantum Chemistry Group

After a few words of introduction about the Quantum Chemistry Group of the University of Upsala, Upsala, Sweden, the main part of the seminar will be devoted to three research projects in solid state theory.

1. Study of the magnetic properties of FeGe.

Iron germanium appears in several phases and has many interesting and so far only partially understood magnetic properties. The crystal were made in the high temperature group of the division of inorganic chemistry and their physical properties are studied in the division of solid state physics. Some of the theoreticians in the quantum chemistry group have made a band calculation for the hexagonal phase to get some background for an attempt to interpret the experimental results.

2. Cohesive properties of ionic crystals.

This has always been one of the key problems of the quantum chemistry group. Löwdin showed in his thesis in 1948 that the deviations from the Cauchy relations could be explained by reference to effective many ion forces which in turn are intimately connected with the overlap between atomic orbitals on different sites. Some extensions of Löwdin's method will be discussed and some reasons for taking up these problems again will be discussed.

3. The AMO method for one- and three-dimensional systems.

The alternant molecular orbital method was introduced by Lowdin in 1953 (at a conference in Japan!) as a possibility to account for part of the correlation between electrons with different spins. The method has been very successful for "one-dimensional systems, which makes it particularly interesting now when "one-dimensional" crystals are actually studied in the laboratory. Three-dimensional applications of the AMO method have been tried for the hydrogen and lithium metals. The results show some interesting aspects with regard to the electron density.

物性研ニュース

東京大学物性研究所の助手公募の通知

下記により助手公募をいたします。適任者の推薦、希望者の応募をお願いいたします。

記

(1) 研究室名および公募人員数

理論第1部門 吉森研究室

(同部門には 教授：芳田 奎， 助教授：吉森昭夫， 助手：山田耕作が  
在任中)

助 手 1名

(2) 研究分野

磁性理論、固体電子論の研究に意欲のある方を希望する。今までの理論分野は問わない。

(3) 資 格

修士課程修了またはこれと同等以上の能力のある方

(4) 任 期

5年以内を原則とする。

(5) 公募締切

昭和50年4月30日(水)

(6) 就任時期

なるべく早期を希望する。

(7) 提出書類

(1) 推薦の場合

- 推薦書（健康に関する所見を含む）
- 履歴書（略歴で結構ですが、学位名・単位取得のみ・論文提出中等と明示のこと）
- 主要業績リスト（必ずタイプすること），ほかにできれば主な論文の別刷

(ロ) 応募の場合

○履歴書（学位名・単位取得のみ・論文提出中等を明示のこと）

○業績リスト（必ずタイプすること）および主な論文の別刷

○所属の長または指導教授の本人についての意見書（宛先へ直送のこと）

○健康診断書

(8) 宛 先

〒106 東京都港区六本木七丁目22番1号

東京大学物性研究所 総務課人事掛

☎ 03 (402) 6231, 6254

(9) 注意事項

理論第1部門助手公募書類在中、または意見書在中の旨を表記し、書留で郵送のこと。

(10) 選定方法

東京大学物性研究所教授会で審査決定する。ただし、適任者のない場合は決定を保留する。

東京大学物性研究所長

山 下 次 郎

人 事 異 動

誘電体部門 助手：竹内延夫 50. 2. 1 出向 国立公害研究所へ

## 物品の管理換えについて（希望調査）

このたび物性研においては、現在も、また、今後とも使用する見込みがないが、十分使用に耐える研究用機器を他の大学へ移管することにいたしました。については、別表の機器の中でご希望のものがおりでしたら関係所員へ直接ご連絡ください。

なお、下記について、あらかじめお含みおきくださるようお願ひいたします。

### 記

1. 輸送のための費用等は受入れ側で負担すること。
2. 同一物品について、希望が重複した場合には、当研究所で諸種の事情を勘案したうえ移管先を決定します。
3. 申込締切期日 昭和 50 年 4 月 30 日

物性研究所管理委員会

### 管 理 換 希 望 物 品

| 品 名       | 規 格  | 所属研究室   | 備 考              |
|-----------|--|---------|------------------|
| 空 気 清 净 器 | ナショナル 36P1型                                    | 本田研究室   | 内線 629番          |
| 遠 心 分 離 機 | H-305型   | 長倉研究室   | 内線 649番<br>比重天秤付 |
| X-Y レコーダー | XYR・1A型  | 細谷研究室   | 内線 656番          |
| X 線 装 置   | 照射用 東芝製  | 小林研究室   | 内線 668番          |
| 螢光分析装置    | 理学電機製  | 共通X線実験室 | 内線 678番          |
| 電 壓 調 整 器 | IPS 299C/23W<br>一次 200V, 二次 0~200V             | 秋本研究室   | 内線 678番<br>大倉電気製 |
| 電 気 抵 抗 炉 | 1φ 100V, Max 14 kW<br>最高 600°C, 常用 450°C~500°C | 井口研究室   | 内線 634番<br>台車付   |

## Technical Report of ISSP 新刊リスト

Ser. A

- No. 683 A Quasi-Probability Approach to the Co-operative Spontaneous Emission, by Kenske Ikeda and Hidemi Ito.
- No. 684 Magneto-optical Studies of Direct Exciton State in Thallous Chloride, by Susumu Kurita, Koichi Kobayashi and Yoshitaka Onodera.
- No. 685 Design of an Expansion Engine and its Application to a 30/h Helium Liquefier/Refrigerator, by Hiroshi Nagano.
- No. 686 Mössbauer Study of Cytochrome C<sub>3</sub>, by Kazuo Ono, Keisaku Kimura, Tatsuhiko Yagi, and Hiroo Inokuchi.
- No. 687 Mössbauer-Effect Study of FeCl<sub>2</sub> · 4H<sub>2</sub>O, by Motoo Shinohara.
- No. 688 Electric Conductivity and Seebeck Coefficient through Multi-Layer Film of Semiconductors, by Fumio Shishido.

## 編 集 後 記

本号では、前号の後を受け、極限物性特別設備費による物性研における研究シリーズの一環としての強磁場研究の現状について、近角・田沼・三浦の三所員に報告を執筆していただきました。

物性研はいろいろな問題を抱えています。10年以内に現所員会メンバーのかなりの fraction が相ついで定年退官されるという事実、それに対応して人事、予算面において今からどのような布石をすべきかという問題、スペース問題、災害防止 etc. etc. etc.

今後、物性研だよりは、物性研の抱えているいろいろな問題を反映させてゆくべきだと考えています。

東京都港区六本木七丁目 22 番 1 号  
東京大学物性研究所

中 村 輝 太 郎  
木 下 実

◎次号の〆切は 4月 10 日です。

