

物性研だより

第28卷
第2号

1988年7月

目 次

○ 物性研究と研究者工作	酒井 明	1
研究室だより		
○ 安藤研究室	安藤 恒也	4
○ 新物質所内シンポジウムについて		8
物性研短期研究会報告		
○ 新しい波長可変レーザーと非線型光学材料の生成とその応用の研究		17
世話人 松岡 正浩, 大倉 稔, 櫛田 孝司, 黒田 寛人		
中井 祥夫		
○ アモルファス半導体超格子の構造と物性		37
世話人 森垣 和夫, 広瀬 全孝, 米沢富美子, 仁田 昌二		
○ 物性研究における計算物理		55
世話人 寺倉 清之, 安藤 恒也, 今田 正俊, 金森順次郎		
高橋 實, 能勢 修一		
物性研究所談話会		58
物性研ニュース		
○ 東京大学物性研究所 助教授の公募		62
○ 日米科学協力事業「中性子散乱」物性研 - エネルギー省 原研 - エネルギー省		
合同運営委員会の開催		64
○ 人事異動		65
○ 東京大学物性研究所夏期講座「電子・中性子・光子で見る固体」		66
○ 東京大学物性研究所における大学院修士及び博士課程進学ガイダンスのお知らせ		67
○ テクニカルレポート新刊リスト		68

編集後記

東京大学物性研究所

ISSN 0385-9843

物性研究と研究者工作

酒井 明也

現在私は民間企業の研究所に勤務しておりますが、これまでに大学の研究室、物性研究所、米国の Bell Labs. に居たことがありますので、本来ならば大学・物性研・Bell Labs・企業の研究所での研究の相違を論ずるのが、「物性研だより」にとって最もふさわしいのかも知れません。なにしろ最近は大学・企業での研究の在り方を論ずる方が流行のようで、「物理学会誌」や「応用物理」にも多くの人々の見解が掲載されています。そのような議論はもちろん非常に重要なのですが、むしろ現実には日常的な研究活動の些細な事柄で、上記の研究施設の共通点や相違点をふと感じることが多くあります。卑近な例で言うと、研究者が行う工作もそのような事柄の 1 つです。

私は視力が極度に弱いせいもあって生来不器用で、工作は大の苦手でした。大学でも工作実習を避けていたため旋盤を使うことも出来ず、学生実験で必要なコイルのボビンを作る時には現在スーパー アトムで活躍しておられる井下博士にずい分お世話になりました。大学院の特に博士課程では、たまたま研究室の予算不足の時期とも重なって、装置の多くの部分やエレクトロニクスを自作することになり、その結果否応なしに工作を始める事となつたのですが、特に指導してくれる人もなく、最初は本を読んで、後は工場の方に教えていただいたら、いろいろな人が工作をしているのを見よう見まねで真似してみたり、とにかく前近代的な方法で工作のコツを覚えようと努力してみました。おかげで博士課程に長く在籍する破目になりましたが、旋盤・ボール盤による加工や、銀ロウ付け・簡単な回路の製作をこなせる程度にはなりました。この時の経験から得られた 2 つの事柄は今も体のどこかに残っています。1 つは研究者が自らの装置の全部あるいは一部を自作するのは当たり前のということ、そしてもう 1 つは優れた技術者に対する敬意です。とても難しそうに見える工作が、様々な治具や手法によって出来上がってゆくのを見るのはいつも新鮮な驚きであり、感心の対象でした。このような感覚は工作機械を実際に取り扱ってみるとないと実感出来ないので、ちょうどピアノやヴァイオリンを少し習ったことのある人がヴィルトゥオーソの演奏を聴く時の感覚と似ているかも知れません。

大学院在学中は研究者用の旋盤をかなり頻繁に使用したのですが、現在はともかく、当時はまともな旋盤が 1 台しかなく、"マシンタイム"を確保するのは容易ではありませんでした。それに工場でも機械加工は大部分が真鍮で、ステンレス加工は少なく、まして TIG 溶接は全く行っていなかったと思います。

物性研に来て、初めて研究者工作室に案内された時には、比較的度の良い旋盤が 3 台あり、ボ

ル盤も2台、フライスも2台、それにバンドソーまであって、設備の良いものを心強く思ったことを記憶しています。HSSのドリルが揃っていたのも印象的でした。工場の技術の高さも素晴らしいもので、この考えは今も変わっておりません。ところが、皮肉なことに、物性研に移ってから、研究に占める自主工作の比率が変化してきたのです。大学院の頃には、自主工作の比重が30～70%で、時には自分で作らなければどうしようもない場合もあったのですが、物性研では自主工作の比重はせいぜい10%かそれ以下ではなかったかと思います。これにはもちろん研究内容が表面物性に変わったことも影響しているでしょう。御存知のように超高真空機器や表面分析器には、とても素人が自作出来ないものが多いからです。しかし、私は単に研究内容の変化だけが原因ではなく、研究の方式というか様式が、大袈裟に言えば時間とともに変化してきていることもあるのではないかと思っています。

何はともあれ、たとえ研究の10%以下の比重であっても、ちょっとした自主工作を行う機会はとても多く、研究者工作室の機械を使ってずい分楽しませていただきました。工作係の方々にとてもお世話になったことは申すまでもありません。

ところが、企業の研究所では事情が大きく変化します。と言うのも、研究者用の工作機械が全く無いのです。これは安全のための措置で、不慣れな人が工作機械で事故にあうのを防ぐためなのだそうですが、研究者にとっては不便に思われることもあります。シャーシに穴を1つ開けるにせよ、丸い物の径を少し削るだけでも、係に依頼することになります。もちろん簡単な機械加工は短日時のうちに出来てしまいますが、自分で行うわけではないので、即座に出来るわけではありません。しかし、無事故は何よりの大原則ですので、このような不便は当然認めなければなりません。このような事情は Bell Labs. でも同じで、Bell Labs. でも研究者用の工作機械は無いことになっています（家先生は Bell Labs. におられた時に研究室に旋盤を持っておられましたが）。

とにかく、現在は自主工作の比重が0%になっています。大学、物性研、そして企業の研究所と移ってゆくうちに自主工作の比重が減り続けた原因是、前にも触れたように研究の様式が変化しているからで、簡単に言ってしまえば、研究がより合理化され、研究技術（内容ではない）が高度化するにつれて、自主工作の比重が低下してゆく、ということです。このような研究の合理化は研究場所によって異なることはもちろんですが、時間とともに着実に進んでいるような気がしてなりません。研究者は実験のアイディアを示すだけで十分であり、そのアイディアを実際に装置として実現させることは専門家が行う、という分業作業が物性研究の分野で当たり前に行われるようになるのは先のことではないと思います（もうそうなっているかも知れません）。そのような場合、装置は black box ですが、測定は自動化されているので、研究者は簡単なキーボード操作で測定を開始し、後は得られるデータを考えることになります。こうなると、理論研究者も実験屋も、表面的には全く同じようにキーボードに向かって仕事をすることになるでしょう。

このような研究様式の良否は、そう簡単に判定することは出来ません。大がかりな実験の場合には

かなり必然的にそのような様式にならざるを得ないでしょうし、その方が成果の挙がる研究の数はとても多いのではないかと思います。それに、装置を作り上げる煩わしさから解放された方が、素晴らしいアイディアを考えるのに適している、と感じる研究者もまた多数いるものと思います。しかし私個人としては、自主工作の比重が少なくとも10%以上の研究に心からの愛着を抱いています。そして、自主工作の比重が大きいから良質の実験が出来ないとは、決して思っておりません。ですから、研究者工作を楽しまれることを、心からお勧めいたします。物性研の研究者工作室のドアには Enjoy doing yourself と書いてあるではありませんか！（今はもう書いてないようですが）

言葉足らずで、まとまりの無い議論になってしまったことをお詫びいたします。物性研を離れてから1年以上経ちましたが、物性研在職時のお世話になった、桜井研究室はじめ表面物性の皆様に心からお礼申し上げます。

研究室だより

安 藤 研 究 室

安 藤 恒 也

早いもので、私が筑波大学から物性研に着任してすでに4年以上が過ぎました。筑波大学では物理工学系に所属し、第3学群（工学部に相当）の教育に従事しておりました。当時、第3学群は創世期で、居室もあちこち転々としたり、研究環境がそれほどよいわけでもありませんでした。しかし、新しい制度にいろいろと戸惑いながらも、創世期に参画していろいろと経験できたことは大変有意義であったと思います。さて、筑波大学から六本木にくると、まわりの騒々しさが非常に気になりました。幸いにも、居室は米軍のヘリコプター基地からいちばん離れた場所にありますが、それでもヘリコプターの騒音は相当なものです。また、付近の道路も交通量が激しく、車の急ブレーキの音が日に何度も聞こえます。このうるささは4年以上たった現在でも気にならないわけではありません。研究予算の面ではほとんど変わりませんが、全体としての研究環境は向上したように思えます。実は、筑波大学で一番困ったのが電話でした。ダイヤルインとなっていて、いつでも電話がかけられるのはよいのですが、外からは本人が居室にいなければまったく連絡がとれません。もちろん、私の場合、大した電話がかかってくるわけではありません。それでも、暇が少しあり図書館に雑誌を見に行って留守にするような場合に、どういう訳か大事な電話があるようです。こちらに移ってからは、有能な技官がおり、電話の心配や科研費の煩雜な事務から解放されただけでも非常に楽になりました。ただ、研究室に割り当てられた面積は少なく、現在大学院生などの人々が増えてくると非常に窮屈な感じがします。もっとも、六本木の高価な土地にいるのであるからそう文句も言えないのかも知れません。

さて、物性研に着任早々、山田コンファレンス「2次元電子物性」を日本で開催する役割をすることになりました。そのためほぼ1年半をその事務処理等に費やすことになりました。会議を能率よく行うには参加者の人数によります。通常100人前後の参加者の場合にはいろいろな委員会を作らずに1カ所すべて処理するのがよく、それ以上の場合には委員会を作って仕事を分担して行わなければなりません。当初、この会議は参加者が100人前後の予定でしたので、会議の運営からプロシーディングまでほぼ一手に引き受けたのですが、実際には200人をわずかに下回る参加者があり、非常に大変な仕事になってしまいました。会議の企画と運営はもちろん初めてで、かってがわからず戸惑いましたが、関西学院大学の佐野直克氏をはじめ、みなさんのご協力のおかげで無事終了したときは、大変肩の荷がおりた気がしました。この会議は、いろいろな面で勉強になりました。しかし、何度もやれと言われてもできることではありません。

当時は助手もおらず、働いてくださる人員が不足しておりましたが、運良く、学振の先進国若手

研究者としてドイツから G.E.W. Bauer 氏が滞在し、研究面だけではなく会議の運営でも非常によく助けてもらいました。Bauer 氏は全部で 2 年間滞在しましたが、日本語の上達が早く、途中から物理の議論も日本語でするようになりました。彼の最初の仕事は変調ドープ量子井戸の発光スペクトルの理論、特に電子間相互作用や不純物効果、についてでした。多量に変調ドープした量子井戸では、電子や光で作られた正孔のエネルギーが電子間あるいは電子正孔間の相互作用により影響を受けバンドギャップが減少します。この仕事は、この効果を取り入れて、当時謎となっていたベル研究所の実験結果を見事に説明したものです。この仕事は現在でも数多く引用されています。最近になり、強磁場下にこれを拡張し、観測されている発光スペクトルの磁場振動を説明できることが、昨年度後期に客員として滞在された新潟大学の片山信一氏によって示されています。

さて、量子井戸の光学的性質において、励起子がたいへん重要な役割を演じます。室温でも励起子が見え、それが容易に電場等でコントロールできるなど応用上の興味もさることながら、後述するバンド不連続の実験的決定や、ヘテロ界面の凹凸の見積などにも使われます。しかし、これまでには、簡単な有効質量近似と簡単な変分関数を組み合わせた雑な計算しかなく、磁場効果や電場効果などをはじめとして、定量的に実験と比較できるような計算はありませんでした。その原因の一つは価電子帯の縮退に起因する複雑なバンド構造です。Bauer 氏はこの量子井戸励起子の信用できる計算を行うことに取り組みました。この仕事は思いのほか大変で、物性研滞在中には完成しませんでした。それが現在やっと完成し、長大な論文を投稿中です。ヨーロッパの人を見るたびに、その研究への根気と執拗さ、また息の長さに関心させられます。さて、Bauer 氏は滞在中日本人女性と結婚し、また運良くオランダの Eindhoven にあるフィリップス研究所の研究員として就職することができました。

その後、1986年 4 月に明楽浩史助手が着任し、現在の研究体制となりました。これまで、実験で観測可能な現実的な問題で、しかしながら“単純明瞭”で基礎物理と結びついた問題を研究テーマに選んできました。具体的には、量子ホール効果、アンダーソン局在、半導体超格子と量子井戸の電子物理などがこれまで行ってきた主な研究テーマです。以下にその概要を述べたいと思います。

量子ホール効果は強磁場下の 2 次元電子系という比較的単純な系で実現するエキゾチックな現象です。現在もまだわからない問題が多く研究を続けております。整数量子ホール効果はアンダーソン局在と関連されて説明されます。すなわち、フェルミ準位が局在状態の中に位置するとき、系のホール伝導度が e^2/h の整数倍となることが、種々の議論を用いて示すことができます。もっとも数学的な証明はホール伝導度をトポロジカルな不变量と結びつける方法でしょう。固体物理に現れる物理量でしかも通常は曖昧な輸送係数が、自然定数と 7 ~ 8 衔の精度で一致することは実に驚異です。まさに、非常に“物性物理離れ”した問題であり、微細構造定数の決定や標準抵抗へ応用されるなど、ショセフソン効果以来の興味深い発見と言えます。これに対して、分数量子ホール効果の方は、強磁場下 2 次元電子系の基底状態と結びついており、より固体物理的な問題と言えます。

さて、実験では非常に厳しい条件のもとでも量子化ホール抵抗が観測されます。理論屋の考える理性的な系での説明はもちろん不十分であり、実験で観測される量子ホール効果の真の意味での説明にはなっていません。実際の系での電流分布や電位分布は非常に複雑で、系の端付近にホール電流が集中しているのが本当のようです。この場合には系の2次元性のほかに電子密度の厚みなどの3次元性も問題になってくるようです。このような、あまり“物理的”ではないむずかしい問題を明らかに量子化ホール抵抗にどのような補正があり得るのかを示さなければ、真の意味で量子ホール効果を理論的に解決したことにはなりません。

整数量子ホール効果をアンダーソン局在と結びつけた説明は大筋で正しいと思われますが、世の中にはそれ以外の説明も可能であると主張する人々もいます。実は、それらの中には誤解によるものも多いようです。磁場中では、電子がサイクロトロン運動をし、エネルギー準位がその中心の位置に関して無限に縮退しています。この縮退がこの系の現象を面白くし、また難しくしています。例えば、磁場中の電子の波動関数が量子力学の演習問題でよく出てきます。そのとき、ランダウゲージをとればガウス形の波動関数、対称ゲージを選ぶとラゲールの多項式のでてくる波動関数が得られるかのように説明されることが多いようです。これはもちろん正しくはなく、無限重に縮退しているために、どのような波動関数をとっても、ユニタリ変換で移るのであればまったく同等なはずです。

この無限の縮退は様々な特異性を引き起します。例えば、無磁場と磁場中とは連続的につながりません。現実の系では、散乱体などこの縮退を解く役割を演じるもののが必ず存在し、このような特異性は現れません。理想的な2次元系で、向い合う2端に無限に高いポテンシャル障壁を導入しても、この縮退は解けます。その結果、この系のホール伝導度は常に e^2/h の整数倍とってしまいます。この場合の整数はフェルミ準位下のランダウ準位の数で、フェルミ準位が次のランダウ準位に到達すれば必ずホール伝導度が e^2/h だけ増大することになるわけです。実は、これと類似の議論が量子ホール効果の説明に用いられていますが、これは本当は正しい説明にはなっていません。散乱体など系の縮退を解く原因がすでにあれば、端の影響はこのように大きな効果を及ぼすはずがありません。しかし、後で述べるメゾスコピック系のように系が小さくなると端の効果も十分系に影響を及ぼすことが考えられます。このような縮退が、問題を難しくし誤解を生みやすくする原因ともなっている反面、非常に興味深い問題を提供しているとも言えます。とにかく、量子ホール効果はなんとも不思議な現象であり、その興味がつきることがありません。暇ができれば、このようなパラドックスについてよく考えてみたいと思っている次第です。

アンダーソン局在の問題は系の不規則性がある場合常に問題になる古くて新しい問題です。1979年の4人組のスケーリング理論のあと、その理解が急激に進歩しました。その進歩の原因の一つは、昔から認識されていた次元の重要性のほかに、系の対称性の重要性が認識されたことです。弱局在の領域では散乱強度に対する摂動がある程度成り立ち、低温での電気伝導度の振舞いや、電子間相互作用

非弾性散乱の役割が明らかになったのも大きな進歩でしょう。しかし、肝心の局在・非局在の転移の問題や、そこで対称性がどのような役割を演じるかについては、ほとんど未解決のまま残されています。そこで、特に対称性が重要な役割を演じる2次元系を中心に、計算機を用いた方法で局在・非局在の転移があり得るかについてこれまで研究してきました。その結果、強磁場中では、分離したランダウ準位の中心付近に非局在状態が存在するが、不規則性の増大とともに、そのエネルギーがお互いに近づき、ある臨界的な不規則性で非局在状態が消滅することが明らかになりました。一方、スピン軌道相互作用が強い場合にも、ある臨界的な不規則性で局在・非局在の転移が起きることも示されています。

半導体ヘテロ構造超格子は、最近の超薄膜結晶成長技術の進歩の結果可能となった人工の新物質です。このようにデザインどうりに新物質を作成することはテクノロジーの分野では画期的なことです。物性理論の立場から見ても、それはいくつかの基本的な問題を提起します。もっとも基本的な問題は、ヘテロ界面で2種類の半導体のバンドの相対的な位置関係を決めるバンド不連続と思われます。これを本当に解決するにはセルフコンシスティントなバンド計算しかありません。しかし、バンド計算に、現実に要求される10 meV程度の精度は望むべくもありません。そこで、その次の問題として、有効質量近似のヘテロ構造への拡張の問題を研究のテーマに選びました。拡張の方法としては、ヘテロ界面の存在を包絡関数に対する境界条件の形で表すのが当然の発想です。そのような定式化のもとに、境界条件を種々のヘテロ界面について計算すること、さらに、GaAs/A1Asのように伝導帯が Γ 、Xなど多数の極小点を持つ場合への拡張などに力をそいできました。その結果、包絡関数自身が連続で、微分が電子流密度保存の条件を満足するようになるという比較的簡単な近似がよいとの結論が得られています。残念ながら、これはあまり面白い結論とは言えないようです。 Γ -Xの場合への拡張にも随分と時間と努力を注ぎました。しかし、電流保存の破れなど基本的な問題をなかなか解決することができず、この有効質量近似の拡張の仕事は労力のわりにはそれほど成功しているとは言い難いのが現状です。

半導体超格子の研究では、最近、格子振動に興味を持ち研究を進めています。格子振動のなかでとりわけ光学振動は、電子と同様に各層に閉じ込められます。ただし、クーロン長距離力のために、閉じ込められないモードも多数存在します。このような格子振動の閉じ込めが電子格子相互作用にどのような影響を及ぼすのかは、現在も未解決の問題です。このような問題を解決するためには、超格子の格子振動、特に電子格子相互作用に重要な役割を演じる長波長の格子振動を再現し、しかも比較的簡単な模型を確立することが重要です。このようなことを目指して、助手の明楽浩史氏を中心に格子振動と電子格子相互作用に関して研究をすすめてきました。それが最近になりやっと実を結び、超格子の格子振動についての理解が得られるようになりました。現在、この結果を電子格子相互作用に応用することを試みております。なお、新しい話題として、メゾスコピック系の量子輸送現象についても考えています。メゾスコピック系では、電極とは何かを始め原理的にわからない問題が数多く存在し、いろいろと楽しめそうです。また、このほかにも新しい問題を物色中です。

新物質所内シンポジウムについて

新物質開発計画懇談会

最近物性研では、新しい物質を合成し、その物性を研究するというテーマが急速に増えつつある。この動きを踏まえて、物性研の将来計画「新物質開発計画」が立案され、現在概算要求事項として提案中であることはよく知られている通りである。

酸化物高温超伝導体の発見以来、物性研の超伝導に対する関心は一層高まり、何等かの形でこのテーマに関与する研究室は凝縮系・理論系を中心として非常に増加した。

一方有機超伝導体に関する研究は、ここ一・二年は酸化物の陰にかくれていたが、常圧10K以上のT_cを持つ物質が斎藤研究室で発見されて以来、大きな関心を所内外に持たれるようになっている。

本年春の学会シーズンには、本所のこの種の研究成果が数多くの学会で発表されている。しかし、所内相互のディスカッションは個々のグループ間で活発に行われているが、所全体での討論の場は意外と少ない。今回我々は表記のシンポジウムを計画し、研究成果を一堂に会して聞く、という機会を作ることとした。このような会によって新物質開発計画がより活発にスムーズに展開することが意図されている。

これは所内シンポジウムとして計画されているが、もちろん所外の研究者にも開かれており、他研究所・大学からの参加・発表・討論も行われている。今回は4月14日酸化物超伝導体、5月10日有機超伝導体のシンポジウムが開かれた。以下はそのプログラムと発表内容の要旨である。

新物質開発所内シンポジウム [I] (酸化物超伝導体)

4月14日 10:00～17:35

休 憩			
1. 10:00～10:05	所長あいさつ	10. 15:15～15:45	軌道放射 菅
2. 10:05～10:35	新物質開発 武居	11. 15:45～16:15	理論 寺倉
3. 10:35～11:05	超 高 壓 毛利	12. 16:15～16:35	理論 小形・斯波
4. 11:05～11:35	凝 縮 系 石川	13. 16:35～16:55	" 福山
5. 11:35～12:05	" 家	14. 16:55～17:15	高橋・Lederer
昼 食		15. 17:15～17:35	高田
6. 13:00～13:30	凝 縮 系 安岡		
7. 13:30～14:00	超 低 温 奥田		
8. 14:00～14:30	中 性 子 門脇・山田		
9. 14:30～15:00	超 強 磁 場 三浦		

Bi 系酸化物超伝導体の相関係

武居文彦

新しく発見された Bi-Ca-Sr-Cu-O 系の超伝導体には $T_c = 80K$ の相と $105K$ の相が混在し、前者は $\text{Bi}_2(\text{Ca}, \text{Sr})_3\text{Cu}_2\text{O}_{6-y}$ 、後者は $\text{Bi}_2(\text{Cu}, \text{Sr})_3\text{Cu}_3\text{O}_{8+y}$ の形であるといわれる。しかしこれら四元系（金属のみ）の相関係はまだ全く明らかにされず、材料合成・単結晶育成を行うための大きな壁となっている。我々は $\text{Bi}_2\text{O}_3 - (\text{Ca}, \text{Sr})\text{D}-\text{CuO}$ の凝三元系を手掛りとして、現在報告されている断片的なデータを統一的に解釈する相関を提案した。特に、Pseudo-binary systemでは $(\text{Ca}, \text{Sr})\text{CuO}_2 - \text{Bi}_2(\text{Ca}, \text{Sr})\text{O}_4$ 系が最も結晶育成には重要であり、共晶低融点はこの中に存在するであろうことを示した。

超高压グループにおける酸化物高温超伝導体の研究

毛利信男

K_2NiF_4 型結晶構造をもつ当初の La-Sr-Cu-O 系から Y-Ba-Cu-O 系、極く最近発見された Bi-Sr-Ca-Cu-O 系についての T_c の圧力効果及び体積弾性率について報告した。又超伝導性と構造との関係を Cu-O の一次元鎖のみをもつ Sr_2CuO_3 及び四角錐型 5 配位をもつ $\text{La}_2\text{SrCu}_2\text{O}_6$, $\text{La}_{1.9}\text{Ca}_{1.1}\text{Cu}_2\text{O}_6$ 系の電気抵抗率、帯磁率、比熱の温度変化から論じた。

イットリウム系酸化物超伝導体の基本物性

石川研究室

我々の研究室では、主としてイットリウム系において酸素量の違いによって生じる諸相（オルソ-I, II, テトラ-I, II）の純化とその基本物性の決定に重点を置いて研究して来た。それは、高温超伝導の出現機構解明の手掛りを得るために、これらの相、とりわけ超伝導相である 2 つのオルソ相を正しく理解することが重要であると考えたからである。我々は、X線回析とか電気抵抗・帯磁率測定以上に、低温比熱の測定から試料の質の評価に関する重要な情報が得られる事に気付き、各相の純化に努めてきた。特に、オルソ-II 相とテトラ-II 相について、更に純度の高い試料が最近得られ、それらの基本物性の測定を現在行っている。

2 次元 CuO₂ 層を有する一連の物質の基底状態

家 泰 弘

La_{2-x}Sr_x Cu O₄ および YBa₂ Cu₃ O_{6+x}においてXの変化とともに系の基底状態が反強磁性絶縁相から高温超伝導相へと移ることは種々の実験により明らかにされている。講演では, La₂ Sr Cu₂ O_{6+x} · Bi₂ Sr₂ (Ca_{1-x}Y_x) Cu₂ O_{8.5-y}について報告した。前者は Y 系や Bi 系の物質と同じ Cu O₂ 重層を有するにもかかわらず常伝導相の基底状態をもつ。また後者の X = 0 の場合である Bi₂ Sr₂ YCu₂ O_{8.5} は絶縁体であり T = 13K で反強磁性相転移らしき振舞いを示す。Bi₂ Ca Cu₂ O_{8.5-y} が T_c = 80K の高温超伝導体であることから, Y 系や La 系の場合と同じような相図が描けるかどうか興味が持たれる。

核磁気共鳴法を用いた高温超伝導酸化物の研究

安 岡 弘 志

核磁気共鳴 (NMR) や核四重極共鳴 (NQR) は酸化物高温伝導体の微視的な研究、特に静的な研究から得られる局所的な構成原子の電子状態や動的な研究から得られる素励起に関して重要な知見を与えてきている。特に核磁気緩和時間の温度変化の研究より、例えば YBa₂ Cu₃ O_{6.9}においては超伝導の発現機構は単純な BCS によるのではなく、スピンのゆらぎの効果が重要であることが示唆された。又最近 YBa₂ Cu₃ O₆ において反強磁性状態における Cu の NMR が観測され、この系における酸素濃度と超伝導や磁性との関係が明らかになろうとしている。

超音波計測による高温超伝導の研究

奥 田 雄 一

超音波呼吸は超伝導のメカニズム探索において、電子-格子相互作用にかかる重要な情報を提供し得るが、転移温度が 100K という高温の場合は、電子の自由行程が大変短くなるため、電子による音波の散乱が大変小さい。そのため、超音波吸収を正確に求めるのが難しい。しかしながら、一連の酸化物で、T_c 以下で音速が異常に増大していることが見出されている。8 テスラ下の音速測定からこの異常は T_c と直接的な相関が無いことがわかっているが、YBa₂ Cu₃ O_{6.2} では同じ温度域で何の異常も無いので、やはり、超伝導と格子の変形とは絡んでいるものと思われる。

「 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+x}$ の中性子散乱」

門脇 広明・山田 安定

酸素欠損の多い 1 - 2 - 3 型化合物は磁気的に活性で磁気秩序相をもつ。 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.3}$ の単結晶を用いて中性子磁気散乱によって磁気構造をしらべた。その結果、この物質は $T_{\text{NI}} \approx 400\text{K}$, $T_{\text{N}} \approx 40\text{K}$ で逐次磁気相転移をする。最初の相転移で CuO_2 層のみ反強磁的に秩序化し、第 2 の相転移で酸素欠損層が秩序化することがわかった。この結果は磁気相互作用のフラストレーション効果を考えると、説明できる。

酸化物超伝導体は T_{c} 測定

三浦 登

酸化物高温超伝導体は T_{c} のみならず、上部臨界磁場 $H_{\text{c}2}$ も非常に高く、絶対零度での $H_{\text{c}2}(0)$ は数百テスラによよぶと見積られている。このため従来の $H_{\text{c}2}$ 測定は T_{c} のごく近傍に限られていた。われわれは超強磁場施設を用い、OK 付近での $H_{\text{c}2}$ 測定をいろいろな手段で試みている。 dB/dt が非常に大きいため、DC 磁気抵抗の測定は困難であるが、磁化測定や高周波法などによって $H_{\text{c}2}(0)$ 測定が可能になりつつある。第 2 種超伝導体の磁化は一般にヒステリシスを伴い、磁場パルスの頂上付近で磁場が折返す際、磁化に飛びが現れる。この飛びを観測することにより、Y 系では 100T の磁場でも超伝導状態が保たれていることが確認された。また試料の高周波透過を測る方法も、メガガウス領域で行われている。

シンクロトロン放射を用いた超伝導体の電子状態の研究

菅 滋 正

これまで東大工の田中昭二、笛木和雄、北沢宏一、内田慎一各研究室との共同研究として、シェブレル、 $\text{Ba Pb}_{-x}\text{Bi}_x\text{O}_3$ (La, Sr)₂ Cu O_4 、 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ の $h\nu < 120\text{eV}$ での UPS 光電子分光と $h\nu < 35\text{eV}$ での VUV 真空紫外光反射分光を系統的に行ってきました。共鳴光電子放出の手法により各電子状態の対称性や軌道混成についての知見を得た。酸化物高温超伝導体については、フェルミ面での光電子放出強度は極めて小さく、酸素 p バンドの束縛エネルギーについてもバンド計算との不一致が大きく電子相關効果が重要であると考えられる。逆光電子放出分光と組み合わせた研究も重要な研究である。

「酸化物超伝導体の電子論」

寺 倉 清 之

酸化物超伝導体は電子相関が強く、一電子近似が破れると思われている。しかし、バンド計算によつて、関連物質の特徴を摑むことや、いくつかの実験データを解釈するヒントを得ることはできると考えている。講演では以下のような項目について議論した。

1. Y系での酸素量コントロールと、2次元 CuO面のバンドフィリングの関係。
2. これらの系では、O(p)-Cu(d)のエネルギー分離が非常に小さい。この点に関するバンド計算と光電子分光の解析との関係。
3. 2次元 CuO面での酸素同志の電子飛び移り積分がかなり大きいこと。

2次元強相関 CuO₂系のホール — Pairing Mechanism —

小 形 正 男・斯 波 弘 行

高温超伝導のメカニズムを調べるために、銅と酸素を含む拡張された2次元ハバードモデル (CuO₂系) 及びその有効ハミルトニアンの基底状態を、有限サイトでの厳密な対角化によって調べた。

その結果、銅と酸素の一体のエネルギーレベル差 Δ が、 $\Delta \lesssim 4t$ (t は Cu-O 間の transfer) となる領域で、酸素上の2津の正孔が束縛状態を作っていることがわかった。さらに引力の起源を調べるために、基底状態の波動関数を詳しく調べた。酸素上の正孔によって、その両隣りの銅サイトのスピン間に強磁性的結合がうまれ、その結果生じる周辺の銅サイトスピン系の磁性的歪みが、引力のメカニズムにとって重要なことが示された。

「強相関系の超伝導に対する分子場理論」

福 山 秀 敏

強く相関する系の超伝導を記述する最も簡単なモデルが Anderson によって提唱された。このモデルでは、電子はお互いに相手を避け合いながら運動すると同時に、電子間に反強磁性的な交換相互作用が働いている。このモデルは、ハバード模型でクーロン相互作用の強い場合の状況に似ているが、必ずしもそう考える必要はなく、もっと一般的に考えて良い。この系に対して Anderson は絶縁体状態におけるRVB状態が、キャリアが添加された状況では大変自然にクーパー対になることを指摘した。本講演では、この機構に基づき、分子場近似による種々の物理量の計算結果を紹介した。

参考文献 : Y.Suzumura, Y.Hasegawa and H.Fukuyama, J.Phys. Soc. Jpn. 57 (1988) 401,
and ISSP Tech. Rept. no.1941.

RVB状態に注入された Holon の運動エネルギーについて

高橋慶紀・P. Lederer

アンダーソンが RVB 状態に注入されたホール（ホロン）がボーズ凝縮して高温超伝導が生ずると主張したように、RVB 状態中のホロンの運動を調べることは重要な問題である。我々は、 5×5 の有限サイズのクラスターで近似的な RVB 状態を実際に構成し、これを用いてホロンの状態密度のモーメントを 8 次まで求めることによって、バンド端の値を $U/t \gg 1$ の極限で計算した。その結果、ホロンの状態密度はネール状態に比較して、さらに狭くなることを見出した。量子ゆらぎを考慮した反強磁性中のホールの場合と比較した場合、この差は大変小さくなり、ホールの注入による反強磁性の消失の論議には U/t の値が有限である効果をとり入れる必要があると思われる。

電子ガス模型による酸化物超伝導体の伝導機構の検討

高田康民

電子相関と超伝導機構との関係を統一的に見るため、電子ガス模型（酸化物超伝導体は、いわば Lower Hubbard Band に出来た強く相関した正孔系とみる。）での長距離クーロン力にフォノンやスピンの揺らぎによる力を加えた系での超伝導を、 T_c を第一原理から計算して調べた。電子相関の弱い通常の超伝導は、BCS理論のとおり、フォノン引力が重要でクーロン力は害になるが、キャリア密度の小さい酸化物超伝導体では電子相関が強く、それを取りこんだ擬粒子間には、長距離クーロン力で充分大きい引力が働くが、短距離の斥力は、その引力効果を更に高める。しかし、フォノンは害になる。アルカリ金属では電子相関が中間的で、クーロンの効果がフォノンのそれと相殺しあって超伝導が実現されないと考えられる。

新物質開発所内シンポジウム [II] (有機超伝導体)

5月10日 13:00～17:00

- | | | | |
|----------------|--------|----------------|----------|
| 1. 13:00～13:05 | 所長あいさつ | 休憩 | 憩 |
| 2. 13:05～13:45 | 凝縮系 斎藤 | 6. 15:30～15:50 | 超強磁場 三浦 |
| 3. 13:45～14:15 | 分子研 森 | 7. 15:50～16:10 | 学習院大 高橋 |
| 4. 14:15～14:45 | 電総研 村田 | 8. 16:10～16:30 | 理論長谷川 |
| 5. 14:45～15:05 | 凝縮系 木下 | 9. 16:30～17:00 | フリートーキング |

有機超伝導体のレビュー

斎藤 軍治

1980年に $T_c = 0.9\text{K}$ で誕生した有機超伝導体は、現在 $T_c = 10.4 \sim 11.0\text{K}$ に、その数は30種になった。これらは、超伝導の主体となっている有機成分の種類に応じ、TMTSF系、BEDT-TTF系、DMET系、M(dmit)₂系に分類される。この四つの系の進展状況と物性を概観した。特に、昨年、当研究所で開発された現在最高の T_c を示す (BEDT-TTF)₂Cu(NCS)₂について、その合成、構造、物性を少し詳しく述べ。将来の T_c 向上に関する考えを述べた。

有機超伝導体のバンド構造と物性分子研

分子研 森 健彦

有機伝導体の物性は結晶構造が微妙に変化することによって半導体から超伝導体まで大幅に変化するが、結晶構造と物性との間をつなぐものとして強結合近似に基づく簡単なバンド計算の助けを借りて議論を行った。特に最近のシュブニコフ・ドハース効果や熱起電力異方性との比較を行った。また金属的伝導性を保ちながら、金剛原子価 Cu に基づく磁気モーメントが発達し、低温で金属的反強磁性状態が実現する (DMDCNQI)₂Cu の物性についても議論した。

有機超伝導体の最近の研究

電総研 村田 恵三

1. DMET族有機伝導体はカロチンである DMET とアニオン X と 2 : 1 の比で成り立っている有機結晶である。DMET は半分が TMTSF 他の半分が BEDT-TTF から成り立っており、カチオンの合成や結晶成長および、これらの物質群が金属性を低温まで維持していることを発見したのは、菊地耕一氏（都立大）と小林啓二氏（東大教養）である。DMET₂X はその結晶構造から 5 つの群れに分類され、又金属相や絶縁体相の現われ方もそれを反映している。5 群のうちには (TMTSF)₂X に類似的なものや (BEDT-TTF)₂X に類似的なものが見られ、二つの先輩の塩を結び付けるものと考えられる。多くの DMET₂X の中で、この仲間を代表するものとしては DMET₂Au(CN)₂ と DMET₂AuBr₂ を挙げることができる。前者の特徴は SDW と超伝導が見られる圧力域が 2 kbar もあることから、超伝導状態での SDW 構造の研究に適している系であろう。また SDW 状態は一部金属状態を残しているような系であることが推測される。後者の電気抵抗の温度依存性を見ると

180K付近に抵抗の極大を示し、その値は温度の上下で大きく異なる。この温度の上下の差異を圧力等で抑えたときに超伝導が現れるように見える。いずれも詳細は研究中である。(菊地耕一氏(都立大)と小林啓二氏(東大教養) 池本勲氏(都立大)らとの共同研究による。)

2. $\beta - (\text{BEDT-TTF})_2\text{I}_3$, $\beta - (\text{BEDT-TTF})_2\text{IBr}_2$ での Shubnikov de Haas 振動が観測された。その断面積は Brillouin Zone の約 $1/4$ 程度である。又、抵抗の振動には Beat Pattern のようなものが見られ、一つの解釈では垂直方向の transfer energy を反映しており、それが電気抵抗あるいは H_c から推察される値と同程度であることをうかがわせる。しかし 2~3 の何れの解釈を試みても必ず矛盾がありフェルミ面の形は決して単純ではないことを伺わせる。(豊田直樹氏(東北大金研)らとの共同研究による。)

3. $(\text{TMTSF})_2\text{ClO}_4$ 磁場誘起相での非線形伝導ヘリウム温度、数Tで見られる磁場誘起SDWは25T付近でさらに新しい相に変わる。この25Tを挟んで電流電圧特性が一見変わるように見える。しかし、この磁場を挟んで Hall 係数が大きく変わることから、同じ非線形効果を見ている可能性もある。又、250T 又は500T の SdH 動が、この25T転移を挟んで連続に続いていることから SdH の振動を起こしているフェルミ面はこの25T 転移とは無関係ではないかと考える(豊田直樹氏(東北大金研)らと電総研の共同研究による。)

(BEDT-TTF)₂ [Cu (NCS)₂]の超伝導

木下 實

超伝導転移温度 $T_c = 10.4\text{K}$ をもつ標題の物質について、(1)赤外～紫外偏光反射スペクトルの測定を行い、Drude-Lorentz 解析から得られた輸送定数を報告した。光学伝導度の bc 面内での異方性は小さい。また、(2)d.c および a.c. 帯磁率の測定を行い、 $\sim 10\text{K}$ 以上でパウリ常磁性、 $\sim 7\text{K}$ 以下でほぼ 100% の完全反磁性を示す結果を得た。磁化の磁場依存性から、4.2K, 7.3Kにおける下部臨界磁場を決め、既知の上部臨界磁場の数値と合わせて、熱力学的臨界磁場 H_c , Ginzburg-Landau パラメータ、侵入深さなどを求めた。得られた H_c は、BCS 理論に沿って、ギャップ (T_c から) と状態密度(パウリ常磁性から)より計算した値と同程度になることがわかった。

(TMTSF)₂C₁O₄の磁場誘起 SDW 相転移

三浦 伸登

(TMTSF)₂C₁O₄は大気圧下で超伝導が見出された最初の有機伝導体として有名であるが、低温、強磁場中で SDW 生成による金属-絶縁体逐次転移を起こすことでも知られている。この逐次相転移

は、もともと低次元的な電子帯構造が、磁場の印加によって一次元化し、フェルミ面のネスティングが磁場によって様々に変化することによって生ずるものである。我々はこの一連の逐次相転移のさらに強磁場領域で、新しい相転移を見出したが、これらの相の起源については強磁場下の低次元電子系の基底状態に関連して興味がもたれる。また SDW 状態下で、SDW の depinning によると思われる非線型伝導がみられた。さらに磁気抵抗に重量して小周期振動が観測されるが、この原因はまだ明らかにされていない。

(BEDT-TTF)₂Cu(NCS)₂ の異常な核磁気緩和

学習院大理 高橋利宏

10K を越える T_c を持つ超伝導体である標題物質について¹ HNMR 緩和時間 T_1 を測定した。常伝導相ではコリンガ則にあう金属的振舞をするが、 T_c 以下で緩和率の異常な増大が見出された。即ち、4K付近にコリンガ則の70倍にも達する鋭いピークを持つ。類似の振舞は I₃ 塩でも見出されており、超伝導機構とからんで注目すべきである。いくつかの可能性の中で、2次元系で期待される“Vortex melting” <磁束格子の融解>の現象との関連を考えている。 $T_{1,-1}$ のピークを示す温度、磁場依存性などはこのモデルと矛盾はしない。有機超伝導体の示す特異な振舞の一つとして、今後の研究をすすめたい。

有機超伝導体の理論的検討

長谷川 泰正

有機超伝導体では同一サイトでのクローン斥力が重要な役割をはたす。そのような場合、重い電子系で議論されたような異方的超伝導が期待され、実際、(TMTSF)₂C₁O₄の核磁気緩和により確立された。このときの引力の起源は、反強磁性的なスピンのゆらぎと考えられている。現在までに知られている有機超伝導体は、電子がバンドの3/4満たしている場合であるが、一方、電子がバンドの半分まで満たされ、モット絶縁体となり、各サイトにスピン1/2を持つ有機物も多く知られている。このような物質で、ドーピング等によって電子数が制御できれば、酸化物高温超伝導体のような高い T_c を得る可能性があるということを指摘した。

今回のシンポジウムはいずれもなかなかの盛況であり、外来の研究者を驚かせた。また、発表に対する討論も極めて活発で、どちらのシンポジウムもスケジュールを大巾に越えてしまった。

次回の秋の学会シーズン終了後に開催する予定である。所内外の研究者の参加と積極的な討論をお願いしたい。

文責 武居

物性研短期研究会報告

新しい波長可変レーザーと非線型光学

材料の生成とその応用の研究

主 催： 東大物性研、松岡正浩 世話人： 東大物性研 松岡 正 浩

共 催： 大阪市大工、大倉 順 稔

阪大理 櫛 田 孝 司

東大物性研 黒 田 寛 人

京大理 中 井 祥 夫

固体レーザーは高出力性や素子としての安定性など多くの利点を持っているが、波長可変性や波長の豊富さに欠けるうらみがある。これを補うため、新材料開発の努力が世界的には続けられ、例えば、フォノンを終状態とする遷移金属イオンを用いた波長可変レーザーが数種の材料において実現している。また、波長可変固体レーザーに関する国際会議もすでに3回開かれている。これらのレーザー媒質の基本理論はルビーレーザー以来用いられて来た配位子場理論による、いわゆる田辺-菅野ダイヤグラムである。それにもかかわらず、実際のレーザー材料の開発では、これまでの我が国からの寄与は極めて貧しい。このような方向に対する研究・開発への指向、あるいは体制が甚だ欠けていたと言わざるを得ない。また、同様なことは固体の非線型光学材料についても言える。

そこで、将来の光物性研究をはじめ、広く分光学を我が国において先導的に発展させるためには、新しい波長域における新しい固体レーザー材料の開発を自ら行うことがぜひとも必要である。

このような状況のもとで、主として光物性、半導体、結晶成長、量子エレクトロニクスの研究者による本研究会を開催し、固体レーザーと非線型光学材料に関する現在の研究状況の把握および今後の研究の可能性の検討を行った。特に、これまでの多年にわたる基礎研究の蓄積を、どのようにして新材料開発に向けることができるか、それが大学や官公庁研究所、民間研究所の立場においてどのように可能かについても議論した。

二日間にわたる密度の高い議論によって、我が国における現状を知り、将来への指唆を得ることができた。これらの結果が今後の科研費などによるプロジェクト研究に生かされることを期待している。

（施設利用料、会場費、運営費等の諸経費は各研究会開催者にて負担）

（開催地： 東大物性研、松岡正浩、大倉順稟、櫛田孝司、黒田寛人、中井祥夫）

（開催期間： 1月22日～23日）

物性研究所 短期研究会 プログラム

新しい波長可変レーザーと非線型光学材料の生成とその応用の研究

期 日 昭和63年 5月27日（金）（午前、午後）、28日（土）（午前、午後）

場 所 東京大学物性研究所 旧棟 1階講義室

5月27日（金）（第1日）

11:00～12:10

はじめに

大倉 熙（大阪市大工）

固体レーザーの最近の話題と展望（30分）

黒田 寛人（東大物性研）

Ti 添加クリソベリル (Ti : BeAl₂O₄) の光学的性質

瀬川勇三郎（理研）、杉本晶子、

レーザー発振（20分）

山岸喜代志（三井金属）

13:10～15:15

クリソベリル結晶中のTi³⁺のESR（20分）

千葉 義暹（東理大）、

人工と天然エメラルドのESRと蛍光スペクトル（20分）

大倉 熙（大阪市大工）

エメラルドの発光ならびに利得特性（20分）

森 雄造（大阪市大工）、

弗化物ガラス中の遷移金属イオンの光物性（20分）

千葉 義暹（東理大）

遷移金属イオンを含む結晶の分光学的性質（20分）

張 吉夫、梅田 徳男（阪大産研）

15:35～17:40

Ti および Cr ドープ波長可変レーザー結晶の育成（20分）

山岸喜代志、守矢 一男、安斎 裕

レーザー結晶と非線形光学結晶の生成（20分）

山口 靖英、杉元 晶子（三井金属）

レーザー結晶並びに非線形光学結晶の育成における問題点

藤井 義正（住友金属鉱山）

（20分）

武居 文彦（東大物性研）

波長可変アレキサンドライトレーザと今後（20分）

今井 信一（東芝生技研）

有機非線形光学材料（20分）

小林 孝嘉（東大理）

5月28日（土）（第2日） 会場：東京工業大学（出光興産会議室） 費用：出席料未収
9:00～10:15

レーザー発振と非線光学材料に関する基礎的条件について 矢島 達夫（東大物性研）

（20分） 前半田和也、鈴木清一、都木健司、大庭邦

Ib型ダイヤモンドのカラーセンターの光物理とオプト 西田 良男（阪大基礎工）

エレクトロニクスへの応用の考察（20分）

ワイドギャップ半導性材質について（20分） 江良 皓（無機材質研）

10:35～12:30

励起子のコヒーレント長と巨大光非線形性（20分） 花村 榮一（東大工）

バルク励起子および表面励起子に伴う巨大非線光学効果 桑田 真（東大理）

CuCl 半導体微粒子の励起子と励起子分子（20分） 伊藤 正、金 発善、池原 誠（東北大理）

CuCl 微結晶中の励起子の光学的非線形性（20分） 樋本 泰章（筑波大物理）

半導体ドープガラス中の発光のダイナミクス セーザー 松岡 正浩、富田 誠（東大物性研）

（コメント）（10分）

13:30～15:10 P型ゲルマニウムにおける広帯域遠赤外レーザー（20分） 小宮山 進（東大教養）

共役有機化合物の電界誘起第二高調波発生（20分） 川辺 豊、酒井 俊男（出光興産中研）

ポリジアセチレン薄膜の作製とその非線形光学特性（20分） 国府田隆夫、石川 謙、金武 達郎

西川 智志、竹田 研爾（東大工）

十倉 好紀、腰原 伸也（東大理）

久保寺憲一（NTT光エレクトロニクス研）

ポリマー中色素のホールスペクトルに対する dispersive 兼松 泰男、斎宮清四郎、櫛田 孝司
kinetics の効果と材料の評価（20分）（阪大）

15:30～16:50

SaF₂ : SrF₂ 混晶系中のEu のバイブロニック異常と 河野 勝泰、中田 良平、角田 稔

電子格子相互作用（20分）（電通大）

Laser-induced fluorescence line-narrowing によるガラス 櫛田 孝司、西村 吾朗（阪大理）

中希土類イオンスペクトルの不均一広がりの研究（20分）

前回の発表をもとにした議論

科学技術振興調整費（科学技術庁）による波長可変固体
木村 茂行（無機材研）
レーザーの研究（15分）
おわりに（10分）
中井 祥夫（京大理）
世話人 松岡正浩 大倉 熙 櫛田孝司 黒田寛人

は じ め に

大阪市大・工 大 倉 熙

今回「…材料の生成とその応用の研究」という題目が、短期研究会に採択されたことは、物性研究の将来をトス上から意義のあることと考えます。我々の研究分野での永年にわたっての物性研究の成果が結集されて、今や新材料の生成を可能にすることとなり、このようにして創生される新材料から、さらに新しい機能が探索されて広汎な応用への途が拓けるようになるとの舞台が設定されつつあることを意味するからです。

研究分野のルネサンスの到来を告げる「レーザー」「非線形光学」が、我々の光学的励起状態の研究分野から生まれたことは、同学の徒のひとしく慶びとする所です。この分野は、多少名前はちがった形ではありますが、戦後遅く開始され、諸先輩研究者の強力な指導力の下で努力が傾注され、固体物理学の一専門分野として牢固とした実力を発揮してきた分野です。幸に老化・退化をおこすことなく再生産的な生成発展段階に入りつつあることは大変おめでたいことです。

21世紀の産業として圧倒的に高い経済効果の期待されている「光技術」は、その基礎を我々の分野に発するものであります。この認識の上からも当研究会が、お紹きしている官界、産業界の研究担当者の諸氏と、大学その他の研究者との意思疎通の場になることを期待しています。之により研究会の成果は、望外の功徳を生ずるものとなりましょう。

柄にもない挨拶にておそれ入ります。

固体レーザーの最近の話題と展望

東大・物性研 黒 田 寛 人

固体レーザーの最近の話題の一つに、波長可変・高出力レーザーの開発がある。波長域に関しては、特に紫外域が念頭におかれている。固体物理等の基礎科学のみならず、生物物理化学や医学方面よりの要望が強い。産業面からは光CVD等半導体プロセスよりの強いニーズがある。開発の方向には、発振波長の直接の可変化をめざす方向と、固定波長をベースに非線形効果により可変化をめざす方向

がある。前者の代表は、アレキサンドライト (Cr^{3+} : $\text{Be Al}_2 \text{O}_4$) や Cr^{3+} : GSGG に代表されるフォノン終準位型であり、後者は Nd^{3+} : YAG 等をベースにした高調波発生やパラメトリック発振であり、最近、KTP や BBO 結晶の実用化により進展が著しい。材料面とともに、固体レーザーの発振・励起方式も新しい展開がある。それは、ロッド方式にかわるスラブ型であり、側面励起面を発振の全反射面としてウェーブガイド型のようにジグザグ型発振をさせ、熱負荷に伴う欠点を大幅に改善しようとするものである。この方式は、半導体レーザー励起、特にアレイ型の励起にも適しており、急速に発展すると思われる。現在、これらに関連した、研究計画として科学技術庁振興調整費による研究がある。そこでは Cr^{3+} や Ti^{3+} ドープのクリソベリルやガーネット、新しいレーザーガラスやスラブレーザー、BBO による波長変換等が進行中である。これらの研究について概説するとともに、ガラスレーザーの将来の方向についての展望を述べる。

Ti 添加クリソベリルの光学的性質とレーザー発振

理研瀬川勇三郎・三井金属鉱山杉元晶子・山岸喜代司

$\text{Ti} : \text{BeAl}_2 \text{O}_4$ は、母材であるクリソベリルが斜方晶系に属し、 a, b, c の 3 軸を持つため光学的性質もこの結晶軸に依存する。我々はこの性質について結晶中で分裂した Ti^{3+} の d 電子のエネルギー準位間の遷移からの説明を試みた。

Ti^{3+} のクリソベリル結晶中の置換サイトである Al^{II} の対称性から $(3\text{d})^1$ のエネルギー準位の分裂状態を解くと上準位の A' , A'' と下準位の二つの A' と一つの A'' になることがわかる。ミラー面との位置関係により各結晶軸で光学的遷移のおこりうる準位が決定される。この選択則から光学スペクトルの特徴はかなりうまく説明できた。選択則の結果と一致しないピークが、吸収、発光スペクトルにひとつずつあったが、これらは Ti^{3+} のおかれている結晶の対称性の理論からのずれによると考えた。

さらに発光寿命の温度依存性から熱消光における活性化エネルギーを求め、光学スペクトルのデータと統合してクリソベリル結晶中の Ti の $(3\text{d})^1$ 電子のエネルギー準位のポテンシャル曲線を得た。

$\text{Ti} : \text{BeAl}_2 \text{O}_4$ は現在 Q スイッチ YAG の第二高調波でのみ発振が確認されている。発振波長は $803 \pm 10\text{nm}$ 、パルス幅は 80ns 以下であった。

クリソベリル結晶中の Ti^{3+} のESR

東理大・理 千 葉 義 遼

大阪市大・工 大 倉 黙

本報告では主として、レーザーのポンピング効率に關係する基底状態近くのエネルギー準位をESRから求めている。

Ti 濃度 800ppm 程度のクリソベリル結晶(三井金属提供)についてX-バンドのESRを測定した。 Ti^{3+} の信号は室温では得られず77Kで初めて観測され線形はロレンツ形に近く homogeneous broadening を示す。120G程度の線幅は交換相互作用による motional narrowing によると解釈され $T_2 \sim 10^{-10}$ 秒が得られる。マイクロ波電力数 mw の order まで飽和は認められなかった。また信号は空間群Pnma で表される結晶のまわりの静磁場の角度依存性よりCs サイトの Al^{3+} と置換した Ti^{3+} によるものと考えられCi サイトからのものは観測されていない。g テンソルの主値は $g_x \sim 1.710$, $g_y \sim 1.755$, $g_z \sim 1.935$ である。

Ti^{3+} のイオン半径は Al^{3+} に比し40%程度大きく八面体を構成する酸素イオンの配位子中での Ti^{3+} の正確な対称性は不明であるが母結晶の Al^{3+} のCs サイトも考慮して z 方向, y 方向に縮んだ D_{2h} を仮定すれば $\delta_1 (=E_{xz} - E_{xy}) \sim 1060\text{cm}^{-1}$, $\delta_2 (=E_{yz} - E_{xy}) \sim 1280\text{cm}^{-1}$ が得られる。

これらの値は光学的に求められた値(杉本, 山岸, 瀬川)* と差異があり今後の検討課題である。

* 本研究会 “Ti 添加クリソベリルの光学的性質とレーザー発振”。

人工と天然エメラルドの蛍光とESR

大阪市大・工 大 倉 黙・森 雄 造

東京理大・理 千 葉 義 遼

天然に産するエメラルド [$Cr^{3+} : Be_3 Al_2 (SiO_3)_6$] は、産地により成長条件、不純物種、濃度等の差があり様々な光学特性を示す。近年発見されたブラジルSanta Terezinha (ST) 鉱床産のエメラルドはエメラルド特有の可視域発光が弱く、Fe 不純物濃度が高いという特徴を持っている。このSTエメラルドと人工(KC)エメラルドの蛍光及びESRを測定し両者の比較をしながらエメラルドの光学特性制御、特レーザー化の可能性を追及した。[1]

我々の測定の結果、STエメラルドの蛍光スペクトルとKC-エメラルドのそれとの顕著な差は、zero-phonon 線と phonon-side band の強度化の違いであることが判った。両者の面積比は前者で約40、後者で0.7 であり、これよりHuang-Rhys 因子Sを見積るとそれぞれ $S \sim 0.7 \sim S \sim 3.7$ が得られた。 Cr^{3+} のESRの差はこれほど顕著ではないが、有効スピンハミルトニアン中、 g_1 , DSz^2 項によると考えられる差が認められた。

ST-エメラルド中のFe イオンのESRは、 Fe^{3+} が $\text{Be}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_3)_6$ 中の $(\text{SiO}_3)_6$ リングが作る六角柱状空洞中に準安定的に依存していることを示している。先に説明した発光特性における変化は、この準安定 Fe^{3+} の影響でないかと推測している。

終わりに、研究会における菅野 晓教授のコメントに御礼申し上げます。

[1] H.Ohkura, H.Hashimoto, Y.Mori, Y.Chida and S.Isozaki, Jpn. J. Appl. Phys. 26(1987) 1422.

エメラルドの発光ならびに利得特性

阪大・産研 張子謙 吉夫・梅田徳男

新しい波長可変なレーザー用固体材料としては、アレキサンドライト (Alx) がよく知られている。 Alx と同じく、 Cr^{3+} を発光中心とするエメラルド (Em) は Alx と同じく、その波長可変性を振動電子準位に負っているが、 Em は Alx よりも、より低い結晶場を有しており、その結果、 Em は Alx に比して、より大きな波長可変範囲と高利得性を持っている。従って、超短パルス発生にも適している。しかも、その波長可変範囲は、 Alx のそれよりも長波長側にあり、 Alx を補完する関係にある。

そこで、われわれは、フラックス法にわって育成された Em について、発光と利得特性を測定した。

測定に用いた試料は 2.3mm 厚の c 板で、これを Ar レーザーで励起した。発光は振電準位に起因する 700–850nm に広がる連続スペクトルと 690nm に位置する R-line からなり、水熱法によるものと変わらない。利得特性は、Ar レーザー励起の試料に波長 788nm の半導体レーザーからのプローブ光を通して行った。励起、プローブ両光を径 $20 \mu\text{m}$ に絞りこみ、かつ自然放出光ならびに励起光を分離する配置とした。1w 励起当たり単行利得は 0.6 と測定され、測定時の有効励起強度、励起体積から推定した 1w 励起当たり励起 Cr^{3+} イオン密度 $4 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ とあわせて、励起 Cr^{3+} の発光断面積 $1.4 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$ を与える。この値は、従来得られていたフラッシュランプ励起による結果にほぼ一致する。

以上の結果、エメラルドの Ar レーザー励起による CW 発振の可能性が示された。

重金属フッ化物ガラス中の遷移金属イオンの光物性

東北大・工 鈴木吉朗

オクラホマ州立大 W.A.Sibley

代表的な重金属フッ化物ガラスである ZBLA ($57\text{ZrF}_4, 36\text{BaF}_2, 3\text{LaF}_3, 4\text{AlF}_3$) 中の遷移金属イオン ($\text{Ni}^{2+}, \text{Co}^{2+}, \text{Mn}^{2+}$) の光学的性質を報告した。光吸収スペクトル、発光スペクトル、発光寿命

及び強度の温度依存性を、 MgF_2 結晶の場合と比較することにより、以下の特徴が明らかとなった。

- 1) ZBLAガラス中の遷移金属イオンは、 MgF_2 結晶中と同様に、 O_h 対称に近い結晶場中にあるが、結晶場は10～30%程弱い。
 - 2) 光吸収の振動子強度は2～20倍程大きい。
 - 3) 低温(15K)での発光寿命は1～2桁程短い。
 - 4) 発光寿命及び強度の減少は、より低温で(15K付近で既に)起こる。即ち、熱消光過程が著しい。
- 1)～4)の結果は、ZBLAガラス中の配位子が、3d-F間の平均距離が2～5%伸び、かつ反転対称性を失うようなゆがみを受けていると仮定することで解釈できる。

遷移金属イオンを含む結晶の分光学的性質

東大・物性研 菅野 眩

はじめに、配位子場理論が評価されているいくつかの点を述べた。第1の点は、有効ハミルトニアの理論として厳密性をもっていること、第2の点は非球対称な多電子系のきちんとした多重項理論になっているが、あらわれるクローン積分を1つに減らして一般性のあるエネルギー準位図を与えていていること、等である。又、この研究会で問題にする波長可変レーザーでは、多重項と格子振動の結合が重要であるが、配位子場理論はそのような問題の取扱いに対して理論的基礎を与える。

話の後半では、この研究会で報告された次の問題に対し議論した：(1) ブラジル産エメラルドのR蛍光線のサテライトの起因、(2) 弗化ガラス中の遷移金属イオンによる蛍光。(1)については、 Fe^{3+} 不純物が引き越す歪による $t_{2g}^{3/2}E$ と $t_{2g}^{2}e^4T_2$ の混合が考えられる。(2)については、格子振動中の増大も考えるべきであるが、蛍光が弱くなることについての説明はそれ程簡単ではなさそうに思われる。興味あるこれから的问题であろう。これに関連して、遷移金属錯イオンを含む水溶液や錯塩で蛍光の見られる例が少ないことを指摘した。

Ti および Cr ドープ波長可変レーザー結晶の育成

三井金属 山岸喜代司・守谷 一男・安斎 裕
山口 靖英・杉元 晶子

新波長可変レーザー結晶の開発を目的として、クリソベリル型構造(空間群： Pmn)を有する化合物の中から Mg_2SiO_4 (フォルステライト)と $BeAl_2O_4$ (クリソベリル)をホスト結晶として選択した。活性イオンは、前者に Cr^{3+} 、後者に Ti^{3+} を選んだ。

結晶育成は、チョクラルスキー法を用いて行われた。得られた最大結晶は、 $30^\phi \times 130^\phi$ (mm) また

Cr^{3+} 濃度は0.02~0.1at%である。

吸収や特に蛍光スペクトルは、2軸性結晶のため異方性がある。特に蛍光は偏光方向により観測される波長範囲が異なる。これは(3d)³系における田辺-菅野ダイヤグラムの²Eと⁴T₂準位の交差点(Dg/B=2.3)に近い結晶場であること、さらに⁴T₂準位が Cr^{3+} の置換サイトの対称性(C_s)により縮退が解ける準位に分裂しかつ、Cs対称におけるパリティ選択則に方位依存性があることによるものと考えられる。

発振は、Nd:YAGの第二高調波励起で行われ1250nm付近で発振した。蛍光スペクトルが700~1300nm、又、ピークが800nm付近であることを考えるとかなり長波長である。これは、700~1000nm領域に残る不純物吸収帯によるものと考えられる。

フォルステライトは、熱的化学的に安定な結晶で良質結晶がチョクラルスキー法で育成できる。現在700~1000nmに残る吸収帯の原因の解明を行っているが、この領域の残存吸収を低下させることができれば、将来有望な波長可変レーザー結晶となるものと考えられる。

レーザ結晶と非線形光学結晶の生成

住友金属鉱山・電材研 藤井 義正

小型、高出力、操作性のよい固体レーザが、新しい結晶の開発、新しいレーザ発振技術の開発によって再び脚光を浴びている。固体レーザのルネッサンスとも呼ばれている。我々の研究所においても、(1)高出力スラブレーザ用結晶として高Nd濃度大型GGG結晶やYAG結晶の生成、(2)LD励起小型レーザ用YAG、YLF結晶の生成、(3)高効率レーザ用Nd、Cr共ドープGSAG結晶の生成、(4)波長可変レーザ用Crドープガーネット結晶やYLF結晶の生成、さらに(5)非線形光学結晶を用いた波長変換用としてTSSG法によるKTP結晶の生成の注力している。

結晶育成方法としては、制御性がよく、大型化が容易なチョクラルスキー法を主に用いている。現在、スラブレーザ用大型YAG結晶育成を試みているが、結晶育成には多くの問題点が残されている。特に融液対流の変動に伴う成長界面の不安定さが大きな問題である。カラーセンタの生成やESA、励起に伴う熱歪等、結晶屋とレーザ屋の協力によって解決すべき問題が多い。

高出力スラブレーザはNd:GGGを用いて、現在平均出力830Wが得られており、将来レーザ加工分野への応用が期待される。

我国のレーザ研究、レーザ技術、レーザ産業は世界的に注目されている分野であり、特に産官学の協力により大いに貢献できることを期待したい。

レーザー結晶並びに非線形光学結晶の育成における問題点

東大・物性研 武居文彦

これらの結晶材料の研究開発は1960年から始まり、以来1980年代の今日まで続いている。しかしその内容を子細に検討すると、そのほとんどが日本以外の国で発見開発されたものである。新しいレーザー物性、非線形光学現象を科学するためには、新しい光学結晶の開発が最も重要であると考える。これらの研究には、現在意欲が著しく減退している企業の研究機関に期待することは意味がなく、やはり大学を含めた国公立の研究機関で、光学結晶の合成・評価・物性の研究を連続的に行う必要があると思う。そのためのグループは決して大がかりなものを必要としないが、しかし長期間にわたって、多くの場合報われない研究を続ける意欲は絶対に必要である。

日本に於いては、企業の研究活動の役割が大きいといわれるが、レーザー関連結晶開発では特にその傾向が強い。もうこの辺でこの体勢は見なおすことが求められているのではあるまいか。

波長可変アレキサンドライトレーザーと今後

(株)東芝・生技研 今井信一

固体レーザーでかつ波長可変であることに興味をいただき、国産結晶の評価と発振特性を調べることから始め、大出力波長可変レーザーとしての発振器を開発した。この過程で波長可変レーザーの産業分野への応用が現われるであろうとの期待に反しなかなか現われなかった。開発された大出力レーザーは、波長固定の加工機として、10J以上のパルス出力、100W以上の平均出力をもち、難加工材の穴あけ装置として使用されるようになった。

このレーザーは、波長可変レーザーとして715nm から805nm までの実用可変域をもつ。この波長域に共鳴帯のあるRb, Kの光励起用レーザーとして、また発振波長を同じくする半導体レーザーのシミュレータとしてこのレーザーが使用されはじめた。

ところで、SHGにより375nm を中心とし、THGにより250nm を中心とした波長可変UV光源とすることができる。 β -BaB₂O₄を非線形結晶としてこれらの発生はおこなわれており、若干の応用分野も現われつつある。

さて、cw レーザーとしてはレーザー励起による発振例の報告しかない。完全な cw ではなくAC点灯の水銀ランプを励起源としたロングパルス高速繰り返し発振は得られている。

これらの波長可変レーザーの次への一步には、大きなモティベイションとなるべき明確なターゲットが欲しい。

有機非線形光学材料

東大・理小林孝嘉

最近、有機化合物特に π 電子共役をもった系の大きい非線形性が注目され多くの研究者の興味をひくようになった。無機化合物に比べて共役有機化合物は大きいミラー指数 δ をもつ。即ちこのことは π 電子のおかれているポテンシャルの非線形性が大きいことを意味する。一方、第二高調波発生の性能指数は δ 程の差はない。これは有機化合物が小さい圧折率をもつためである。むしろいいかえれば、有機化合物は小さい線形分極率であるにも拘わらず大きい非線形性を持つが、性能指数は小さい。次に分子分極率（線形および非線形）に関するDucuin等の簡単な取扱いについて解説した。

次に我々が提案した新しい電気光学定数測定法について述べた。試料を Fabry-Perot 共振器を構成する二枚の半透金属鏡にはさむ。この金属鏡は電気光学効果をひきおこす電場を加える電極としても用いられている。この方法の特長は従来法のような数千ボルトという大電圧を必要としない。良い消光比をもった偏光子・核光子対を必要としない。電気光学定数の実部と虚部の両方を同時に決定することができるという点である。この方法は薄膜状ポリマーや、低分子をドープしたポリマー、薄膜結晶、液体等にも通用できる。またガラス転位点以上の温度で電極間に電圧を加え冷却することによって分子を配列（poling）した試料の場合にはPockels係数も求めることができ、また配列の度合いをcharacterizeすることもできる。

レーザー発振と非線形光学材料に関する基礎的条件について

東大・物性研矢島達夫

標記の課題について、重要でありながら従来必ずしも認識されているとは思われない幾つかの問題を論じた。

(1) レーザー発振とは何か？

レーザー発振はレーザー作用の究極の形態であるが、従来それに該当しない場合にも発振という言葉が安易に使われる場合が少なくない。そこで改めて発振現象の特徴を明らかにし、現実に起こる現象に対して正しい理解と表現を行うよう勧告した。

(2) 物質の対称性と波長変換用材料

最低次の非線形光学効果を表す2次非線形感受率 $\chi^{(2)}$ をもつ物質は、波長変換への応用上重要である。対称性の要求から従来これに対して反転対称を欠く結晶のみが開発の対象となっていた。しかし、等方性媒質（気体・液体・非晶体）でも光混合に対しては $\chi^{(2)}$ が存在し、コヒーレントな波長

変換が可能などを指摘した。このような常識の盲点を積極的に掘り起すことの重要性を強調した。

(3) 非線形光学材料における共鳴効果

非線形光学過程においては、入出力光の何れにも共鳴しないが、その結合周波数に対してだけ共鳴する、非線形の場合に特有な“かくれた”共鳴効果が多く存在する。このことを注意深く吟味することは非線形材料の多彩な特性を理解するのに有効である。非線形効果の大きさや応答速度の非線形過程による違いや、その物質依存性などが、この観点から説明できることが少なくない。

I b 型ダイヤモンドのカラーセンターの光物性と オプトエレクトロニクスへの応用の考察

阪大・基礎工 西 田 良 男

近年、1カラット (0.2g, 4mm³ 位) の合成ダイヤモンドが、我国で商業ベースで作られており、半導体レーザーのヒートシンクに使われている。この合成ダイヤモンドは窒素不純物を100ppm 程度含んでおり、タイプI b に分類されるものである。これに、中性子線または電子線照射を行って格子欠陥を導入し、さらにアニールを行うと各種のカラーセンターが生成される。光吸収、発光スペクトル、ESRを測定して、形成されるセンターの種類と量、放射線照射量、アニール温度との関係を明らかにした。

アニールした試料では、638nm にゼロフォノン線 (ZPL) をもつNVセンターが主たる存在となる。このNVセンターの光励起、緩和過程について、実験的に調べた。NVセンターは、そのZPLがユニークなホールバーニング効果を示すこと、応用上有望なことを論じた。また、NVセンターのフォノンサイドバンドは強いルミネセンスを示し、650から800nm の波長可変レーザーとなる可能性がある。レーザーを設計する場合、今後調べるべき幾つかの問題点を指摘した。ダイヤモンドのカラーセンターはオプトエレクトロニクスへの応用として注目すべき対象であり、その基礎研究としてカラーセンターの光物性の研究は重要である。ホールバーニングでは、新素材として作られているダイヤモンドやSiCのCVD膜の光学的研究の推進を提案した。

ワイドギャップ半導性材質について

無機材研 江 良 皓

固体を直接に電気的に励起するレーザーとしてはレーザーダイオード (LD) が唯一の実現している方式であるが、可視の大部分と紫外域用あるいは広範な波長可変型はない。最近、三島、田中、山岡と筆者がそのpn接合による紫外域での発光ダイオード (LED)動作を確認した立方晶室化ほう素

(CBN)について、そのLED動作を紹介し可能性を簡単に考察する。pとしてBe, nとしてSiをドープして超高压力、高温下で育成作製したpn接合を順バイアスすると接合面近傍で発光する。発光スペクトルは電極条件により~250nmと~340nm, 340nmと490nmにベル形の山を有する。これ等は少数キャリヤーのpn接合を通しての注入再結合による発光と認定出来る。結合発光中心はドナーあるいはアクセプターが有力候補ではあるが、他に幾つかの未知の不完全性が関与していることは確実である。体色もそれによって理解出来る。

この材質は間接ギャップであるが、そのLDの可能条件についてのDumkeの指摘する困難要因はこの場合問題になるとは限らぬ様に思う。しかし、完全性向上、オーム性電極の実現は当然として、縮退条件を実現するため現在の~0.23eVよりドナー、アクセプターの導入が必須である。いずれにせよ天然ダイヤモンドで報告されている色中心型波長可変レーザーも含め、新しいレーザーの材料として検討されてよい一つと考える。

励起子のコヒーレント長と巨大光非線形性

励起子は、結晶を構成する分子の電子励起の重畠として記述される。その結果として、結晶の体積の平方根に比例する巨視的な遷移の双極子をもつ。そのため大きな光との相互作用をもつが、3次元結晶ではその並進対称性のために、ポラリトンと呼ばれる励起子と電磁波の混成波を形成してしまう。2次元や0次元の低次元系では、その大きな双極子モーメントによって、速い応答を示しながら、同時に大きな非線形分極率 $X^{(3)}$ を持ちうる事を示した〔1, 2〕。次に、結晶の不完全系のために、励起子のコヒーレント長は有限におさえられる。特に2次元系で、このコヒーレント長が励起子の吸収幅の平方根に逆比例する事を示し、これが励起子の発光寿命と3次の光非線形分極率をいかに支配するかを示した。このコヒーレント長は、励起子及び励起子ポラリトンのアンダーソン局在、特にその弱局在効果によって決まる。3次元の系において、このポラリトンのアンダーソン局在が、位相共役波の発生に重要な役割を果たしているかを理論的に示した。第一のPump光とProbe光の作るグレーティングによる第二のPump光の回折によって、Probe光の時間反転波が発生するメカニズムを微視的に導いた。特に、ポラリトンの不純物の多重散乱波と、その時間反転の多重散乱波の干渉効果による事を示した。

〔1〕E. Hanamura : Phys. Rev. B37, 1273 (1988),

〔2〕E. Hanamura : Phys. Rev. B38, July15 (1988).

バルク励起子および表面励起子に伴う巨大非線形光学効果

東大・理 桑田 真

最近の半導体ドープガラスの研究や半導体超格子の研究に見られるように、励起子準位は半導体の非線形性の起源として中心的な役割を担っている。したがって、その性質を詳しく調べることは固体の非線形光学材料を探索する上でもきわめて重要である。そこでまずバルク励起子共鳴領域での非線形光学効果を定量的に測定する事を行った。励起子共鳴領域のように強い吸収域でも使える方法として反射型の偏光分光法を開発し、red-HgI₂ のA励起子での測定を実際に行なった。その結果、縦波励起子近傍で 1×10^{-4} esu という大きなX⁽³⁾の値を得た。これを、励起子を局所的な非線形振動子として扱う2レベルモデルを用いて計算した値と比較したところ、2桁程大きくなっていることが解った。これと同様な事がPb I₂ の蒸着膜^{*}や、CuCl でも確認されており、バルク励起子系に一般的な現象であると考えられる。

励起子系の示す巨大な非線形光学効果のもう一つの例としてアントラセン単結晶の(001)面の表面励起子準位近傍での非線形光学効果の実験例を紹介した。実測された反射率の光励起下での変化率からX⁽³⁾を見積ると 1 esu にもなる。この様な大きな非線形光学効果と花村によって指摘されている励起子の持つマクロな双極子モーメントとの関連について現在考察している。

*)T. Ishihara and T. Goto ; J. Phys. Soc. Jpn. 57 (1988)2191.

CuCl 半導体微粒子の励起子と励起子分子

東北大・理 伊藤 正・金 発 善
池原 賢

NaCl マトリックス中に約 1 mol% の濃度でサイズ分布を持って折り出した CuCl 微粒子 (平均サイズ数 nm) の光物性測定を行い、光学非線形性との関連を検討した。CuCl 微粒子の励起子半径は 0.68 nm と小さく、励起子はバルクに近い性質を保ちつつ、重心運動の量子閉じ込めを受けると考えられる。微粒子中の励起子の発光率はバルクに比べて 1 衡以上大きいが、発光寿命は再吸収効果の為にマトリックスの形状に支配される。再吸収の少ない数 μm の粉末マトリックスにおいて、発光寿命には CuCl 微粒子サイズの増大とともに短くなる早い成分と、サイズに依存しない遅い成分とが共存する。前者は、光学非線形性に重要な役割を持つと期待されるコヒーレントな広がりを反映した励起子の超輻射現象によるとみられ、サイズが 5 nm で約 300 ps まで減少する。長い成分は界面の電子励起状態による可能性が考えられる。次に、色素レーザーを用いた励起子共鳴高密度励起下におい

では、励起エネルギーに依存して励起子・励起子分子発光に構造が生じ、特定サイズの微粒子中の励起子と励起子分子のエネルギー関係が求められた。約 3 nm より大きなサイズでは、励起子分子も重心運動の量子閉じ込めを受けるが、より小さいサイズでは、励起子分子の内部運動の変化、即ち束縛エネルギーの変化が起こっている様である。以上の結果から、励起子・励起子分子の関係したコピー レントな三次の光学非線形性の増大を観測するには、5 nm 程度のサイズのそろった微粒子試料での研究が有効と思われる。

CuCl の微結晶中励起子の光学的非線形性

筑波大・物理 外 本 泰 章

NaCl 母体結晶中にドープされた CuCl 微結晶中の励起子の光学的非線形性を調べる為に、色素レーザーパレスを用いた吸収飽和の実験を行なった。CuCl 微結晶の寸法は、光吸収で観測される Z_3 励起子のエネルギー位置から、伊藤氏の実験式を用いて求めた。CuCl 微結晶の直径 3 nm～10 nm にわたる試料が得られる。色素レーザーの光を強くすると、励起子吸収は、低エネルギー側から飽和していく。この飽和の様子は、 $\alpha = \alpha_1 / (1 + I / I_s) + \alpha_2$ 式でよく記述できる。 I_s (飽和密度)は、CuCl 微結晶の直径 a が増大するにつれ、減少し、 $a^{-2.6}$ に比例している。この事は、三次の光学的非線形感受率 $X^{(3)}$ の虚部 $I_m X^{(3)}$ は a の増大と共に大きくなる事を意味する。伝播効果を考慮に入れて、見積ると、 $I_m X^{(3)}$ は a の 3～4 乗に比例している様で、花村の予想を支持している。吸収の非線形性屈折率はバルク CuCl 中の励起子のそれに比し 2 衡程度大きい。 $X^{(3)}$ の正しい見積りには、強度の弱い極限で見積る必要があり、これが今後の課題である。

半導体ドープガラス中の発光のダイナミックス（コメント）

東大・物性研 松岡 正 浩

静大・理 富田 誠

半導体微粒子をドープしたガラス（色ガラスフィルター）は量子サイズ効果による大きな非線型性を持つ材料の一つとして注目されている。位相共役波発生などの非線型実験が多くの研究者によって行われ、その応答時間が報告されているが、その結果はサイズ効果の他に、入射光強度やフォトダーダクニング効果、試料温度によって異なるばかりでなく、同じ波長特性をもつ試料でも製法によって（メーカーによって）も大幅に異なることが知られている。そのため非線型性や応答速度が粒子サイズにどのように依存しているかをこれらのデータから判断することはできない。

我々はフォトダーダクニングの起こらない窒素温度において、強弱の二光束励起などの方法を用いて、

蛍光スペクトルやその強度の飽和、寿命、非線型応答などを詳しく調べた。その結果、上記のような様々な結果は、トラップ準位の存在とその飽和効果によって説明されることがわかった。このトラップ状態は微粒子表面に由来するものと推測されるが、これが試料による大幅なバラツキの原因とも考えられる。

さらに、このトラップ準位を光励起によって飽和させると、色ガラスの種々の光学的特性を（可逆的に）制御できることも明らかにされた。

P型Ge における広帯域遠赤外レーザー

東大・教養 小宮山 進

アクセプターを $1 \times 10^{14} / \text{cm}^3$ 程度含むp-Ge にヘリウム温度で直交した強い電場と磁場を印加すると電場と磁場の比が適当な範囲にある時 ($E = 500 \sim 200 \text{ V/cm}$, $E/B = 110 \sim 180 \text{ V/cm} \cdot \text{kg}$) 重い正孔は光学フォノン放出を頻繁に繰返すが軽い正孔の多くはサイクロトロン振動の過程で光学フォノンエネルギーまで達することなく比較的長時間自由な運動を続けるという情況が生じる。その結果軽い正孔の重い正孔に対する相対分布が顕著に増大して分布反転を形成し、10W程度に達する強力な遠赤外レーザー発振が起こる。その発振波長域は軽い正孔のエネルギー分布を反映して連続的であり、かつ広い。実験的には現在の所波長選択性のない光学共振器を用いているため常に数本～10本程度の同時発振線が得られ、その波長域は電場と磁場に応じて $75 \mu\text{m}$ から $250 \mu\text{m}$ 程度に変化する。ただし $125 \sim 170 \mu\text{m}$ の区間は発振が存在せず、それは軽い正孔が $k = 0$ の γ 点近傍でイオン化不純物により非常に強く重い正孔帶へ散乱されるという事情に關係していると考えられる。

500kg/cm² 程度までの一軸性応力を印加すると発振の電場磁場領域が拡大し、かつ長波長域での発振強度が増大する。また $\lambda = 125 \sim 170 \mu\text{m}$ にも発振が現れる。これらは γ 点における帶間の縮退が応力により解け、その結果軽い正孔のイオン化不純物による散乱が減少したためであると考えられる。

現在、発振機構を更に詳しく調べるため、改良した共振器において単一波長発振を試みている。

共役有機化合物の電界誘起第二高調波発生

出水興産・中研 川辺 豊・池田 秀嗣

酒井俊男・川寄健次

化合物を溶媒中に溶解して電圧を印加するとマクロな反転対称性が消え、SHGに関して活性となる。溶媒中での分子の配向がボルツマン分布に従うと考えると、観測されるSHG強度より、分子自身の二次の非線型性を求める事が出来る。

ベンゼン環及びポリエン鎖より構成される長さの異なる π 電子系骨格と、種々のドナー基及びアクセプター基を両端に有する化合物を系統的に合成し、これらの $1.06 \mu\text{m}$ に於ける非線型光学定数を電界誘起 (EFISHG)によって測定した。その結果、ドナー性及びアクセプター性が強く、共役鎖が長い程、非線型性が大きい事が確認された。

上記の波長に於いて二光子の共鳴が存在する時、二次の非線型光学定数の虚数部分が無視しえなくなる。メロシアニンは可視部に大きな吸収を有する化合物であるが、そのEFISHG強度の濃度依存性は非線型光学定数の実数部を考えただけでは解釈できない。虚数部分は位相が $\pi/2$ だけ遅れたSHGとして観測される事を考慮して濃度依存性をフィッティングした所、実験と良い一致を得た。

天然物であるレチナールの末端にアクセプターであるシアノ基又はニトロフェニル基を導入した。これらの化合物も可視部に大きな吸収を有し、また非線型性の虚部も無視できない。非線型性の大きさはMNA (2-メチル-4-ニトロアニリン)の10倍程度である。

ポリジアセチレン薄膜の作製とその非線形光学特性

東大・工 国府田 隆夫・石川 謙一

金 武 達郎・西川 智志

竹田 研爾

東大・理 十倉 好紀・腰 原 伸也

NTT・光エレクトロニクス研 久保寺 憲一

三次の非線形光学材料として関心を集めている有機物質に、ポリジアセチレンと総称される共役高分子がある。二個のアセチレンが連結したジアセテレン単量体 $\text{RC}\equiv\text{C}-\text{C}\equiv\text{R}'$ を重合することによって得られる高分子単量体の両端にある側鎖置換基 R, R' を様々な構造の分子で置き換えることにより、その物理的、化学的な性質を大幅に変えることができる。高分子物質では例外的に良質の単結晶が得られるので、精密な光物性研究の対象になり、またラングミュア・プロジェクト法や真空蒸着法で良質の薄膜を作製することもできる。

非線形光学過程に関与しているのは、共役主鎖上の準一次元的な π 電子系である。三次高調波光発生には配向性の良いエピタキシャル薄膜が適している。側鎖基置換効果を利用した配向膜の作製法、その構造評価、三次非線形分極率 $X^{(3)}$ の測定結果を詳しく報告した。試料作製技術上の基本的な問題は克服されたので、今後の課題は一次元的 π 電子状態と関係づけてその微視的な機構を明らかにする基礎物性的な問題と、導波路構造などの非線形光学素子にその特徴を利用することである。大きな非線形感受率、高速応答性、強励起光に対する耐性、側鎖基置換による制御性などの点で、注目に値する物質である。

ポリマー中色素のホールスペクトルに対する dispersive kinetics の効果と材料の評価

阪大・理 兼 松 泰 男・斎 官 清四郎
櫛 田 孝 司

ローダミン640, レゾルフィンなどの色素をポリビニルアルコールフィルムにドープした試料を用いて、ホールバーニング分光を行い、ホールスペクトルの照射光量依存性を測定・解析した。バーニング機構のモデルとして、色素分子は特定の two level system と結合しており、光励起に引き続き励起状態断熱ポテンシャルの二極小点間でフォノンを媒介としたトンネリングを起こすものとし、トンネリング因子 $e^{-\lambda}$ における λ はガウス分布をしているとする。このモデルにより記述される dispersive burning kinetics はゼロフォノンホール (ZPH) の深さの照射光量依存性をよく再現し、さらに ZPH の幅の照射光量依存性、サイドバンドホール形状の非対称性の出現を説明するものであることがわかった。定性的には、バーニング光によって選択されたサイトは、バーニングの容易なものから困難なものまで幅広く分布しており、前者がバーニングの早期において飽和することにより、ホールスペクトルの顕著な照射光量依存性をもたらすと考えられる。バーニング効率の分散の程度はゼロフォノン線の相対強度及び幅などの材料評価のパラメータをホールスペクトルから抽出する際に必要であるのみならず、それ自体、色素・ポリマー系を特徴づけるパラメータとして重要である。

CaF₂-SrF₂ 混晶系中のEu のバイブロニック異常と電子格子相互作用

電通大 河 野 勝 泰・中 田 良 平
角 田 稔

Eu²⁺ イオンの強い f-d 遷移とバイブルオニック構造を利用した波長可変の短波長帯 (420–480nm) レーザーの発振を目的にその基礎物性をしらべた。CaF₂ から SrF₂ へ混晶度を増すに従い、吸収及び励起スペクトルのピーク波長は線形的に変化する。一方蛍光スペクトルは、ほぼ 50% 混晶度において最も長波長側に移動し、その後再び短波長側へ戻るという非線形的な振舞いを示した。同時に蛍光のバンド幅も非線形的に変化し、CaF₂ 純結晶の 3 倍程の増大を示した。この異常は二次元配位座標モデルにおいて電子格子結合度が基準座標 g_0 の二乗に効くことに起因している。即ち 50% 混晶度で結合度を最大にするように g_0 と吸収ピークに二次関係を導入すれば蛍光ピークの非線形性と説明でき実験との一致も良い。同様に蛍光強度と寿命の温度依存から無輻射遷移の活性化エネルギーの極小異常も説明できる。ゼロフォノン線及びバイブルオニックサイドバンドの温度依存から電子格子結合度定

数を求めたが今の所、混晶度との明確な依存性を見出していない。結晶中の Eu^{2+} に対する Eu^{3+} イオンの割合はイオン熱電流の温度変化から、実験に使用した仕込み濃度0.1mol%の試料では3%程度と見積られた。混晶は誘導過熱炉を使って育成し、YAG第三高調波励起の Eu^{2+} 混晶のバイブルニッケルレーザーを設計製作し、現在調整中である。

Laser-induced fluorescence line-narrowingによるガラス中希土類イオンスペクトルの不均一広がりの研究

阪大・理 榎 田 孝 司・西 村 吾 朗

$\text{Ca}(\text{PO}_3)_2$ ガラスにドープした Eu^{3+} イオンを波長可変色素レーザーを使って色々の波長の光で励起し、放出される $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_0$ 、蛍光線のスペクトルを詳細に研究した。 $^5\text{D}_0$ 、 $^7\text{F}_0$ 準位ならびに $^5\text{D}_1$ 、 $^7\text{F}_1$ のStark成分のエネルギーが互いにどのように関連しているかが求められ、 $^5\text{D}_0 - ^7\text{F}_0$ 線のエネルギー位置と遷移確立との間に直線関係が成り立つことが見出された。これらの結果は Eu^{3+} に働く結晶場の2次の成分が Eu^{3+} イオンのサイトによって異なっているとしてうまく説明できる。特に $^5\text{D}_0 - ^7\text{F}_0$ 線のエネルギーは結晶場パラメータ B_{20} によってほぼ決められており、この値は平均値 -750cm^{-1} 、標準偏差 245 cm^{-1} のガウス分布をしていることが知られた。さらにEuサイトの点対称性は C_{2v} ないしは C_2 であり、全てのEuイオンは結晶場の大きさは連續的に異なるもののほぼ同じようなサイトを占めていると考えられる。また、 $^5\text{D}_0 - ^7\text{F}_0$ 遷移が起こるメカニズムは、パリティ偶の結晶場によるmixingの効果によって $^5\text{D}_0 - ^7\text{F}_2$ ($M_J = 0$)遷移から強度を借りるというものであることが明らかとなった。このように Eu^{3+} イオンをプローブとしてレーザー誘起蛍光を調べる方法は、アモルファス物質中の局所的な結晶場について詳しい情報を得る手段として広く応用できるものと思われる。

科学技術振興調整費(科学技術庁)による 波長可変固体レーザーの研究

無機材研 木 村 茂 行

科学技術庁では昭和57～58年の2年間、大出力レーザー新技術に関するフィージビリティスタディを行い、昭和59年度から「大出力波長可変レーザー及びレーザープロセッシングに関する研究」を発足させた。「波長可変固体レーザー」は「自由電子レーザー」と並んでレーザー発振技術の項目として採用された。

慎重な調査結果を基にガーネット結晶等 Cr^{3+} や Ti^{3+} を含む4種の結晶とガラスを材料として選定

し、昭和61年度までの3年間、研究に取り組んだ。良い結晶を作ることを最重要課題として行なった。かなり効率的に研究を進めたつもりであったが、結晶合成技術の確立に予想以上の時間を費やし肝心のレーザー評価にあまり時間が充てられない結果になった。第Ⅰ期の3年間の成果の評価ではレーザー発振が不可欠の条件とされたが、これに適合したのは $Ti^{3+} : BeAl_2O_4$ のみであった。

反省材料は沢山あるが、研究対象となった結晶があまりに新しかったことも一つと考えている。また研究対象の選定で、結果的にはガーネット結晶を選んだのは不適当であった訳で、自分たちの実績を基盤とした選定法にも問題があった。

米国を中心に波長可変固体レーザーの研究が盛んで、国際集会も既に3回開かれている。これらの理論基盤が主に日本で発展した経緯を考えると、日本からの寄与が少ないので寂しい。次回は来年3月頃、米国東部で開かれる予定である。

物性研短期研究会報告

（昭和63年6月15日～16日）

アモルファス半導体超格子の構造と物性

（東京大学物性研究所）

司会者：森垣 和夫・瀬戸 全孝

（東京大学物性研究所）

アモルファス半導体超格子、特にアモルファスシリコン系超格子 $a\text{-Si:H}/a\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{:H}$, $a\text{-Si:H}/a\text{-Si}_{1-x}\text{N}_x\text{:H}$, $a\text{-Si:H}/a\text{-Si}_{1-x}\text{Ge}_x\text{:H}$, $a\text{-Si:H}/a\text{-Si}_{1-x}\text{O}_x\text{:H}$ 等が最近基礎/応用の両面から、活発に研究されている。この分野は誕生してまだ数年しかたないが、当初からハイオニア的な研究が我が国で行われ、現在においても、その研究の質、量ともに、我が国の研究者がその最先端を行っているといつても過言ではない。

結晶半導体超格子と比べて、アモルファス固有の不規則性が加わるために、超格子特有の現象、特に量子サイズ効果に関して、実験結果の解釈に任意性があった。しかし、最近これに関して、有力な実験的証拠が我が国の研究者によって得られて来ており、また結晶半導体超格子では見られないアモルファス固有の興味ある性質、現象が明らかになりつつある。

本研究会は、このような現在の状況をふまえ、構造、物性の両面におけるアモルファス半導体超格子の特徴を突っ込んで議論し、その問題点を明確にする目的で計画された。このために各講演に対して充分討論時間をとるように配慮され、また最後に総合討論の時間を設けた。この分野の最前線の研究発表と活発な討論によって、上記の目的は、ほぼ達せられたと思う。以下、プログラムと各講演の要旨を記す。

（司会者：森垣 和夫）（東京大学物性研究所）（文責：森垣）

（司会者：森垣 和夫）（東京大学物性研究所）

（司会者：森垣 和夫）（東京大学物性研究所）

（司会者：森垣 和夫）（東京大学物性研究所）

（司会者：森垣 和夫）（東京大学物性研究所）

6月15日（水）13:00～18:05

A. 構造、安定性（13:05～15:50）（司会者：森垣 和夫）（東京大学物性研究所）

A 1 アモルファス半導体超格子の構造安定性（20分）（司会者：森垣 和夫）（東京大学物性研究所）

（司会者：森垣 和夫）（東京大学物性研究所）

田中 一宜（電総研）

A 2 $a\text{-Si:H}/a\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{:H}$ 超構造膜の積層構造（10分）（司会者：森垣 和夫）（東京大学物性研究所）

伊藤 晴夫、松原 一直、村松 信一
嶋田寿一（日立中研）

- A 3 $a\text{-Si:H}/a\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x:\text{H}$ 多層薄膜構造における
膜内水素の結合様式 (10分) 吉本 昌広, 松波 弘之 (京大工)
- A 4 PPP-CVD 法による非晶質超格子の連続合成と
in-situ XPS による界面構造の原子レベル評価
(20分) 川崎 雅司, 松崎 良雄 (東大工)
王滝 輝彦 (東洋大工)
鯉沼 秀臣 (東工大工材研)
- A 5 水素化アモルファスシリコンドーピング超格子に
おける準安定状態 (20分) 高田 純 (鐘淵化学)
- A 6 プラズマプロセスから見た界面制御 (10分) 中山 喜萬, 河村 孝夫 (大阪府大工)
- A 7 基板移動型アモルファス超格子作製装置とそれを
用いて作った $a\text{-Si:H}/a\text{-Si}_3\text{N}_4:\text{H}$ の性質
(20分) 仁田 昌二, 太田 益幸, 森下 泰之
伊藤 貴司, 服部 覚, 林 久則
野々村修一 (岐阜大工)
- 15 : 50～16 : 05 休憩
- B. バンドオフセット, 界面 (16 : 05～18 : 05) 座長 清水 勇
- B 1 $a\text{-Si}_{0.2}\text{C}_{0.8}:\text{H}/a\text{-Si:H}$ ヘテロ接合界面での
バンドオフセット : XPS(20分) 岩見 基弘, 平井 正明, 日下 征彦
(岡山大理)
赤尾 文雄 (岡山理科大)
吉本昌広, 松波弘之 (京大工)
- B 2 アモルファスヘテロ接合におけるバンド不連続量の
決定(10分) 宮崎 誠一, 広瀬 全孝 (広大工)
- B 3 フォトルミネッセンスによる $a\text{-Si:H}/a\text{-SiN:H}$ 界面の評価(20分) 大枝 秀俊 (電総研)
- B 4 $a\text{-Si:H}/a\text{-Si}_{1-x}\text{N}_x:\text{H}$ 超格子における界面欠
陥 : PDS(10分) 谷田部喜久雄 (東京高専)
太田 洋 (物性研)
- B 5 $a\text{-Si:H}/\text{ZnS}$ 超格子薄膜における界面の構造と
欠陥(20分) 森本 章治, 水嶌 一嘉, 清水 立生
(金沢大工)
- 6月16日 (木) 10 : 00～17 : 00
- C. 電気的性質 (10 : 00～11 : 45) 座長 仁田 昌二
- C 1 $a\text{-Si:H}/a\text{-Si}_3\text{N}_4:\text{H}$ 超格子の面内電気伝導(20分) 宮崎 誠一, 広瀬 全孝 (広大工)
- C 2 アモルファス多層膜のキャリア輸送, 緩和特性(10分) 白井 肇, 中田真佐美, 清水 勇
(東工大総理工)
- C 3 $a\text{-Si:H}/a\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x:\text{H}$ 多層薄膜構造の電気的
特性 (20分) 吉本 昌広, 松波 弘之 (京大工)

- C 4 p型 a-SiC : H 積層膜の電気伝導特性(10分) 田中 博文, 宮地 賢司, 大橋 豊
福田 信弘 (三井東圧化学)
- C 5 光 CVD アモルファス超格子構造膜の電気的特性と 太陽電池への応用(10分) 樽井 久樹, 岡本 真吾, 中村 昇
津田 信哉, 中野 昭一, 桑野 幸徳 (三洋電機)

11：45～13：00 開会式(1時間) 昼食(1時間) 食事の後は午後セミナーへ

D. 光学的性質 (13：00～16：00) 座長 田中 一宜 (日立電気電子研究所)

- D 1 a-Si アモルファス半導体超格子における光吸収係数の実験結果と理論(20分) 米沢富美子 (慶大理工)

- D 2 a-Si 量子井戸構造におけるサブバンド間光学遷移の観測(10分) 服部 公則, 岡本 博明, 浜川圭弘 (阪大基礎工)

- D 3 a-Si アモルファス超格子 a-Si : H / a-Si_{1-x}N_x : H の光反射スペクトル(20分) 仁田 昌二, 伊藤 貴司, 野々村修一 (岐阜大工)

- D 4 a-Si : H / a-Si₃N₄ : H 超格子におけるルミネッセンスの温度依存性(20分) 山口 政晃 (物性研)

- D 5 a-Si : H / a-Si₃N₄ : H 超格子における時間分解ルミネッセンス、時間分解 ODMR(10分) 萩原 千聰 (物性研)

15：00～15：15 開会式(1時間) 休憩(1時間) 懇親会(1時間) 大賀 伸一郎

- D 6 a-Si : H / a-Si₃N₄ : H 超格子の蛍光減衰のランダムウォーク・モデル(20分)

- D 7 a-Si : H / a-Si₃N₄ : H 超格子における光誘起吸収(10分) 太田 雄洋 (物性研)

総合討論 (16：00～17：00) 座長 森垣 和夫

A 1 アモルファス半導体超格子の構造安定性

東大工 本間 格・小宮山 宏
電総研 田中一宜

アモルファス半導体超格子が示す多くの特異な物性のうち、基礎物性、実用の両面から重要な問題である構造安定性について $a\text{-Ge : H} / a\text{-GeN}_x$ 系を用いた実験を行なった。 $a\text{-Ge : H} / a\text{-GeN}_x$ 超格子は反応性スパッタリング法を用いて作成した。高分解能 TEM の観察によるとヘテロ界面は少なくとも 5 Å 以下の急峻性を持っていることがわかった。超格子の熱的安定性を定量的に調べるため熱分析 (DSC) 測定を行なったが、これによると結晶化プロセスは 2 つのステージに分かれることがわかった。1 つは 150°C ~ 450°C の範囲に見られる前結晶化過程、他の 1 つは 450°C 以上でおこる結晶化過程である。前結晶化過程で起こる構造変化としては低角度 X 線回折ピークの反射強度の増加、半値幅の減少がある。また赤外吸光によれば 200°C より結合水素の脱離が始まり 400°C では完全に水素は脱離する。また TEM 観察によると $a\text{-GeN}_x$ 層の界面付近に原子密度の小さい領域が点列状に現われる。これらの現象は水素の脱離に伴うヘテロ界面の平坦化、 $a\text{-Ge : H}$ 層の緻密化といった比較的短距離の構造緩和により説明できる。一方、結晶化ステージにおいては $a\text{-Ge : H}$ 層厚を薄くするに従い結晶化温度 T_c は上昇し、バルク膜の $T_c = 450°C$ に比べて 200°C 以上も上昇した。またとくに $a\text{-Ge : H}$ の T_c は同じ厚さの $a\text{-Ge}$ に比べて約 70°C 高い。この T_c の上昇は結晶化による界面エネルギーの上昇量 $\Delta \gamma$ を導入することにより簡単な熱力学的考察により定性的に説明できる。水素の存在により最初の界面エネルギーが低下すれば $\Delta \gamma$ の上昇を引き起こし、従って T_c の上昇がおこる。

A 2 $a\text{-Si : H} / Si_{1-x}C_x : H$ 超構造膜の積層構造

日立中研 伊藤 晴夫・松原 直
村松信一・嶋田寿一

コンピュータ制御プラズマ CVD 装置を用い、ボロンドープ p 型 $a\text{-Si : H}$ 膜とノンドープ i 型 $a\text{-Si}_{1-x}C_x : H$ 膜から成る超構造膜を断続形成法で作製し、TEM 法と SEM 法により直接観察した。断面 TEM 像によれば、鏡面 c-Si 基板近くの積層界面は平坦であるが、積層上部界面にラフネスが見られた。凹凸基板上の積層膜や断続形成膜と連続形成膜の比較等の検討から、上記ラフネスの原因は、基板表面状態にあるのではなく、断続形成法と $a\text{-Si : H} / a\text{-Si}_{1-x}C_x : H$ ヘテロ接合積層にあり、特に後者が主たる原因であることが分った。

また、超構造膜の光学ギャップ、光導電度、活性化エネルギーと $a\text{-Si : H}$ ウェル層膜厚の関係

を調べた。ウェル層膜厚60~100 Å のとき、 $a\text{-Si : H}$ 単独膜に比べ、超構造膜の光学ギャップは広く、光導電度は大きく、活性化エネルギーは小さい値を示した。これらの結果は単純な量子モデルでは説明できず、界面における高水素濃度層の存在、ボロンやカーボンのオートドーピング等を考慮する必要があると考えられる。

本研究は通産省工業技術院サンシャイン計画の一環として、新エネルギー総合開発機構からの委託で行われたものである。

A 3 $a\text{-Si : H} / a\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x : \text{H}$ 多層薄膜構造における膜内水素の結合様式

京大工 吉川 本 昌 広・松 波 弘 之

$a\text{-Si : H}$ と $a\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x : \text{H}$ ($x = 0.2, 0.5, 0.8$) とからなる多層薄膜構造における膜内水素の結合様式について述べる。

多層構造はグロー放電法で製作した。多層構造の井戸層 ($a\text{-Si : H}$) 内の水素結合様式をフーリエ赤外吸収法で測定した。障壁層幅は20 Å 一定で、井戸層幅を11 Å から510 Å まで変化した。

障壁層 $a\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x : \text{H}$ の炭素組成 (x) が0.2, 0.5, 0.8のいずれの場合も、井戸層幅が40 Å 以下では、 $\text{Si}-\text{H}_2$ 結合の形で水素が膜中に取り込まれる。井戸層幅が40 Å を越えると、膜中には、 $\text{Si}-\text{H}$ 結合が形成される。井戸層幅が65 Å を越えると、 $\text{Si}-\text{H}_2$ 結合は減少しはじめ、 $\text{Si}-\text{H}$ 結合が優勢となっていく。

A 4 PPP-CVD 法による非晶質超格子の連続合成と in-situ XPS による界面構造の原子レベル評価

東大工 川崎 雅司・松崎 良雄

王 滉 輝 彦

東工大工材研 鰯沼 秀臣

我々が開発した非晶質超格子の連続合成法である PPP-CVD 法及び従来法であるバッチ法について、超格子界面構造を原子レベルで評価、比較した。

Si_2H_6 (3 sccm) と CF_4 (60 sccm) を原料ガスとして2つの方法で二層膜を作成し、その界面を XPS により in-situ 評価した。一つは、光・プラズマ複合 CVD 法により $a\text{-SiC : H : F}$ (20 Å) を作成し、系を真空パージしてから、その上に光 CVD 法で種々の厚み (2.5~50 Å) の $a\text{-Si : H}$ を積層させるバッチ法である。もう一つは、プラズマを OFF するだけで光・プラズマ CVD 法

から光 CVD 法へ移行する連続法である (PPP-CVD 法)。

次にこの二層膜について XPS の測定を行った。上層の a-Si : H を通過して観測される下層の a-SiC : H : F のCとFからの光電子について考える。a-Si : H 中での光電子の飛程を λ とするとき、膜厚dの a-Si : H を通して観測される光電子強度は、界面が理想的に急峻な場合、 $N(d) = N_0 \exp(-d/\lambda)$ となる。バッチ法で作成した二層膜の $\log(N(d))$ vs. d のプロットは良い直線関係を示し、この二層膜の界面が原子レベルで急峻であることが分かった。連続法で作成した二層膜では、バッチ法の場合程良好な直線関係は得られず、界面の乱れが 5 Å 程度存在することが示唆される。この様に、界面の構造を原子オーダーで評価することができた。

A 5 水素化アモルファスシリコンドーピング 超格子における準安定状態

鐘淵化学工業（株） 高田 純

a-Si : H ドーピング超格子の面平行及び垂直方向におけるコンダクタンスが光照射及びバイアス印加によって準安定的に変化する現象¹⁻³についてレビューする。これらの現象はn型及びp型の各層の厚さが150～1000 Å の範囲で観測されており内部電場の存在が一つの原因と考えられる。すなわち各層が非常に薄い場合には内部電場は 0 に漸近し、非常に厚い場合には各層のかなりの部分において内部電場の無い領域となる。事実、短時間光照射後の高伝導準安定状態の生成は励起時に面垂直方向に電場を与えることで抑制できることがわかった。このことは不均一な内部電場がこの準安定状態生成のために重要な役割を担っていることを示唆している。ある温度 T_E ($\sim 150^\circ\text{C}$) 以上からの冷却時に印加されるバイアス V_c に依存する準安定状態が発見された。この状態は測定電圧 V が $V > V_c$ の範囲で非線形な I - V 特性を示す。a-Si : H の single layer それ自体光照射や T_E 以上からのクエンチにより準安定状態が生成されていることが知られているが、そのドーピング超格子においてはその単純な構造とドーピングレベルの変化によりその特性を広範囲にコントロールすることが可能である。

1. J. Kakalios and H. Fritzsch ; Phys. Rev. Lett. 53 (1984) 1602.
2. S. H. Yang and H. Fritzsch ; to be published.
3. J. Takada and H. Fritzsch ; J. Non-Crystalline Solids 97 & 98 (1987) 907.

（アーチもなき）超格子の電気的性質

A 6 プラズマプロセスからみた界面制御

吉澤 順一・井口 勝彦・高橋 伸一・山本 良輔

大阪府大工 中 山 喜 萬・河 村 孝 夫

プラズマ CVD プロセスによる超格子構造の製作上重要な問題である各層間の界面制御について述べる。

非晶質半導体超格子の物性を理論的に理解したり予測するためには、超格子を設計通りに製作することが基本となる。しかし、プラズマの初期過渡状態は数秒から数十秒にわたり、その間バルクと異なる特性をもつものが成長する。過渡状態の主因は、プラズマ領域における原料ガス分子の数密度変化であるが、これとともに電子温度、電子密度の変化も考えられる。

過渡状態の制御法として予備放電方式を提案する。つまり、基板から離れた位置で予備放電を発生させ、引続いて主放電を発生させる方法である。発光分光分析法で見る限りこれにより初期過渡状態は消滅する。この効果を実証するために、 SiH_4 プラズマを用いて 3 種類の逆スタガー型の TFT を製作した。1 つは初期プラズマを経験したもの、他の 2 つは予備電離方式およびシャッターワイドにより初期プラズマを排除したものである。活性層がまさに界面近傍に存在するため、TFT 特性は初期プラズマの影響を強く受けるが、予備電離方式によるものでは見られない。また、 $\text{SiH}_4 - \text{H}_2$ および $\text{SiH}_4 - \text{H}_2 - \text{NH}_3$ プラズマによる $a\text{-Si : H}$ と $a\text{-Si}_3\text{N}_4 : \text{H}$ からなる 30 周期の超格子についても、初期プラズマの効果を確認した。

A 7 基板移動型アモルファス超格子作製装置とそれを用いて作った $a\text{-Si : H}/a\text{-Si}_3\text{N}_4 : \text{H}$ の性質

岐阜大工 仁 田 昌 二・太 田 益 幸
森 下 泰 之・伊 藤 貴 司

反応室を 2 槽もつ基板移動型アモルファス超格子作製装置を試作し、それを用いて作ったアモルファス超格子の構造といくつかの物性を紹介した。装置は次のような特徴をもつ。

a) 反応室のよごれ（ドーパント、異種原子）による混入をさけることができる。

a-1) 基板槽に水素等のガスを流したり水素放電を加えることができる。

b) 井戸層、バリア層が正反応の構造をもつ超格子を同時に作ることができる。

c) 放電等を止めなくてよい。

したがって初期放電の効果をさけることができる。

d) 異なるタイプの膜形成法を使うことができる。

GD 法, スパッタ法, 光 CVD 法, 真空蒸着

構造の周期性は X線小角散乱, ESCA による Si 2 p の強度が周期的にみられること, 光反射率を使って示した。

物性として特にめずらしいのはガス放出スペクトルが $\text{Si}_3\text{N}_4 : \text{H}$ 膜が表面にある場合と Si : H が表面にある場合で 730°C で著しく異なることである。

B 1 a-Si_{0.2}C_{0.8} : H / a-Si : H ヘテロ接合界面での バンドオフセット : XPS

岡山大理 岩見基弘・平井正明

日下征彦

京大工吉本昌広・松波弘之

岡山理科大赤尾文雄

アモルファス半導体超格子として興味深い性質を示す, a-Si_{0.2}C_{0.8} : H / a-Si : H ヘテロ接合について, a-Si : H の p, n 両タイプに対して, XPS (X線光電子分光) 法により, 接合界面でのバンド端不連続を明らかにする研究を行った。用いた手法はすでに結晶半導体ヘテロ接合での ΔE_v (価電子帯での不連続の大きさ) を決定するのに用いられ, その有用性が示されている手法である。この手法では, A, B 2 種の半導体があるとき, E_v , E (CL) をそれぞれ価電子帯の上端, 内殻準位の結合エネルギーとしたとき, A, B バルクについてまず, $[E_v^A - E^A(\text{CL})]$, $[E_v^B - E^B(\text{CL})]$ を測定しておく。次いで, A/B ヘテロ接合について $\Delta E(\text{CL}) = \Delta E^A(\text{CL}) - \Delta E^B(\text{CL})$ を測定する。この 3 種のデータから, 例えば $[E_v^A - E^A(\text{CL})] + \Delta E_v = [E_v^B - E^B(\text{CL})] + \Delta E(\text{CL})$ の関係より ΔE_v を決定する。実験データには, すべて, エネルギー差を用いるため測定精度はよい。

今回の系では a-Si_{0.2}C_{0.8} : H / a-Si : H (n) では $\Delta E_v \approx 0$, a-Si_{0.2}C_{0.8} : H / a-Si : H (p) では $\Delta E_v \approx 1.5\text{eV}$ となった。このように, 伝導タイプ (ドーパント) の違いにより, ΔE_v に顕著な差の現れることは興味深く, その物理的解明が待たれる。なお, この結果は, 吉本ら (本研究会報告, C 3 など) のキャリア輸送現象の研究結果と矛盾しない。

B2 アモルファスヘテロ接合におけるバンド不連続量の決定

著者名：高田正一・小林卓也

広大工 宮崎誠一・広瀬全孝

X線光電子分光法(XPS)を使ったアモルファスヘテロ接合におけるバンド不連続量を直接求める簡便な手法を報告する。本手法では、まずヘテロ接合の価電子帯スペクトルを、これに対応するバルク材料の価電子帯標準スペクトルで波形分離する。次に、求められた各価電子帯スペクトル端のエネルギー差から価電子帯バンド不連続量を、更に、光学バンドギャップの値を利用して、伝導帯バンド不連続量を決定する。この手法を用いて、B-doped a-Si : H / undoped a-Si_{1-x}N_x (X = 0.38) 及び、B-doped a-Si_{1-x}C_x : H (X = 0.23) / undoped a-Si : H ヘテロ接合におけるバンド不連続量をボロンドーピングモル比 [B₂H₆] / [SiH₄] の関数として、定量的に評価した。その結果、ボロン添加による a-Si : H 及び、a-Si_{1-x}C_x : H (X = 0.23) の光学バンドギャップの低下は、主として、価電子帯端が上昇することに起因しており、伝導帯端は移動しないことが示唆された。

B3 フォトルミネッセンスによる a-Si : H / a-SiN : H 界面の評価

著者名：高橋義典・高橋義典・高橋義典・高橋義典・高橋義典・高橋義典・高橋義典・高橋義典

電総研 大枝秀俊

アモルファス多層膜は、一般に高周波プラズマ放電を用いた堆積法により形成される。このため、積層界面、特に母体構成元素の異なる薄膜を交互に積層した場合のヘテロ接合界面には欠陥が誘起されていることが、これまでにいくつかの実験結果から示唆されている。

ここでは、a-Si : H / a-SiN : H 系を取り上げ、積層順序の違いによる界面品質の差異をフォトルミネッセンス観測により評価することを試みた。a-Si : H / 石英、a-SiN : H / a-Si : H / 石英、a-SiN : H / a-Si : H / a-SiN : H / 石英の三種類の試料構造を用いた。界面による差異を区別し得るようにするため、各構造に含まれる a-Si : H 層は一層とした。10Kでのフォトルミネッセンス測定では、1.96eV (He-Ne レーザー) の励起光を用い、a-Si : H 層のみを選択的に励起し、発光効率の a-Si : H 層膜厚依存性を各試料構造について測定した。

測定結果の解析から見積られた各界面欠陥密度は、a-SiN : H on a-Si : H 界面 : $\lesssim 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ 、a-Si : H on a-SiN : H 界面または a-Si : H on 石英界面 : $\sim 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ 、a-Si : H 自由表面 : $\sim 2 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ であった。a-Si : H / a-SiN : H 界面では、積層順序の違いにより界面欠陥密度に明らかな差異のあることが認められた。

B 4 a-Si : H / a-Si_{1-x}N_x : H 超格子における界面欠陥 : PDS

東京高専 谷田部 喜久雄
物性研 太 田 洋

バリエー層幅は25Å一定で、井戸層幅を6Å～720Åまで変えた a-Si : H / a-Si₃N₄ : H 超格子膜を作製した。ガスの切り換えの際に5秒間真空排気を行なう。その時放電が一時停止する。この影響を比較する為、a-Si : H 膜も同様の条件で放電断続による膜を作製した。これらの試料の光学吸収係数 α を、PDS 法によって測定した。その結果、光学ギャップ E_{OG} およびアーバックティルの傾きパラメータ E_u は、井戸層幅が小さくなるにつれて大きくなっていることがわかった。特に30Å以内で急激な増大を示している。次に Jackson と Amer らの方法に沿って、過剰光学吸収係数 α_{ex} の値から一対層当たりの欠陥密度を見積もってみた。その結果によると欠陥は界面からかなり尾をひくことがわかる。また放電を断続して作製した a-Si : H 膜の欠陥は連続成膜のバルク膜に比べ、欠陥はふえているものの超格子膜に比べれば非常に少ない。このことよりやはりヘテロ接合界面の方が欠陥が出来やすいことが確認された。

B 5 a-Si : H / ZnS 超格子薄膜における界面の構造と欠陥

金沢大工 森 本 章 治・水 嵐 一 嘉
清 水 立 生

水素化アモルファス Si と ZnS を用いて超格子膜を作製し、その作製法の最適化をはかった。これまで我々が作製した a-Si : H / ZnS 超格子膜では異常に大きな暗電気伝導度を示していたが、今回は a-Si : H なみの暗電気伝導度と光伝導度を示し、一般的な a-Si_{1-x}C_x : H や a-Si_{1-x}N_x : H を用いた超格子膜とほぼ同じような特性を有する膜が得られた。この超格子膜の特徴である障壁層に Si 原子を持たないという特徴を生かし、a-Si : H 井戸層の評価を行なった。その結果、界面近傍の井戸層数 nm に渡って SiH₂ のような多結合 H が過剰に入っており、かつ Si ダングリング・ボンドも界面近傍数 nm に渡ってかなり高い密度で分布していることがわかった。従って、アモルファス超格子膜の作製などヘテロ成長が重要なものでは界面近傍での a-Si : H 成長条件をさらに最適化する必要があるものと思われる。

C1 a-Si : H / a-Si₃N₄ : H 超格子の面内電気伝導

廣大工 宮 崎 誠 一・廣瀬 全 孝

直接光 CVD で製作した a-Si : H / a-Si₃N₄ : H (50A) 超格子の面内電気伝導を、 a-Si : H 井戸層幅の関数として、評価した。超格子材料では、バルク a-Si : H に比べ低電界領域において、空間電荷制限電流が観測され、実効的なキャリア移動度が増大していることが示唆された。オーム伝導領域において決定した面内電気伝導度は、井戸層幅が100Å以下の試料において、井戸層幅が減少し、その活性化エネルギーは増大する。これはバンドギャップの増大と同様に単一量子井戸モデルにおける量子サイズ効果として計算した結果とよく一致する。光 CVD 超格子試料では、AM 1 (200mW/cm²) 3時間照射による光伝導度の変化 ($\sigma_{PH_2} / \sigma_{PH_1}$) は、バルク試料のそれと同程度であり積層化による光劣化の増大は観測されない。むしろ、井戸層幅を減少させるにつれ $\sigma_{PH_2} / \sigma_{PH_1}$ は 0.6 から 0.675 と若干増大傾向を示す。この傾向は、プラズマ CVD 超格子の場合特に顕著に観測され、バルク材料が大きな光劣化 ($\sigma_{PH_2} / \sigma_{PH_1} = 0.10$) を生じているにもかかわらず、井戸層幅が 25Å の超格子において $\sigma_{PH_2} / \sigma_{PH_1} = 0.64$ であり、光劣化は大幅に低減している。この事から、構造安定な a-Si₃N₄ : H で a-Si : H を挟むことにより光照射安定性が著しく向上していることが示唆される。すなわち、バルクに比べて a-Si : H / a-Si₃N₄ : H 界面近傍には S-W (Staebler-Wronski) 効果を引き起こすような weak bond は少なく、むしろ超格子構造によって光照射安定性が向上していると考えられる。この事は、超格子の熱処理実験において、構造安定性の増大が観測されていることと矛盾しない。

C2 アモルファス多層膜のキャリア輸送、緩和特性

東工大総理工 白井 雄肇・中田 真佐美

清水 勇

近赤外領域で分光感度に優れた高抵抗膜の実現を目的として、 a-Si : H (F) / a-SiGe_x : H (F) 多層積層膜を用い、ポテンシャル変調によるキャリア輸送特性の制御の検討を行った。その結果、構造周期 L > 80Å、光学ギャップ差 $\Delta E_g = 0.3 - 0.4$ eV の多層構造膜で、 725nm 付近の近赤外領域まで分光感度を維持し、且つ高抵抗化 ($\sigma_d \sim 10^{-12}$ S/cm) を実現した。そこで本研究では、この多層膜を実際に光起電力素子、撮像デバイスなどへ応用する際問題となる空間電荷、及び熱生成キャリアの光伝導に及ぼす影響を明らかにする事を目的とした。即ち多層膜に均一に PH₃ をドーピングし熱生成キャリアの数を変化させた a-Si : H (F) / a-SiGe_x : H (F) 多層膜について、 time-of-flight

法, Schottky ダイオードを用いた一次光電流測定法などにより、その評価を行った。その結果、電子のドリフト移動度 $\mu_d \sim 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{Vs}$, $\mu_d \tau \sim 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{V}$ と電子の走行に対して熱生成キャリアの影響は、無視できることがわかった。さらにこの多層構造の最適化を計る目的で障壁層 (a-Si : H (F)) を50Åに設定し、井戸層 (a-SiGe_x : H (F)) の幅 d_{SiGe} をパラメータとして光学吸収、一次光電流などの測定を行った。一方内方向の伝導度の評価から、膜厚比 $d_{\text{SiGe}}/d_{\text{Si}} < 10$ ($d_{\text{Si}} = 50\text{\AA}$) の領域で、単一組成 a-SiGe_x : H (F) の伝導度の値 10^{-8} S/cm に比べ、 $10^{-10} - 10^{-9} \text{ S/cm}$ と低い値に維持されている事が分かった。以上の結果は、この多層膜が実用デバイスに対して有効である事を示唆するものである。

C 3 a-Si : H / a-Si_{1-x}C_x : H 多層薄膜構造の電気特性

京大工 吉 本 昌 広・松 波 弘 之

n型およびp型のワイドギャップアモルファス半導体を得るために、a-Si : H / a-Si_{0.2}C_{0.8} : H 多層薄膜構造に注目した。この多層薄膜構造を用いたワイドギャップ a-Si_{0.2}C_{0.8} : H へのキャリア注入の検討結果について述べる。

a-Si : H (n型) / a-Si_{0.2}C_{0.8} : H 多層薄膜構造で膜厚方向にトンネル電流が流れることを観測した。新しいデバイスを製作してその電流電圧特性を調べることにより、トンネルした電子は‘熱い状態’であることが分かった。素子構造は、トンネル伝導を起こさない厚い (1000 Å) a-Si_{0.2}C_{0.8} : H の上に多層構造を積層したものである。この素子内の a-Si : H 層の膜厚が50 Åのとき、多層構造でトンネル伝導により生成した熱い電子は、多層構造内で運動エネルギーを完全に失うことなく、熱い状態で a-Si_{0.2}C_{0.8} : H に注入される。a-Si : H 膜厚が100 Åのとき、バッファ層内で熱い電子が散乱され、その運動エネルギーを失う。

井戸層 a-Si : H がp型の場合、多層構造内では、空間電荷制限電流が優勢に流れる。障壁層 a-Si_{0.2}C_{0.8} : H (光学的禁制帯幅3.18eV) は、正孔に対して障壁とならないといえる。

C 4 p型 a-SiC : H 積層膜の電気伝導特性

三井東圧化学(株) 田 中 博 文・宮 地 賢 司

大 橋 豊・福 田 信 弘

p型 a-SiC : H は現在アモルファス太陽電池の窓材料として使われており、その特性により太陽電池の変換効率がほぼ決まってしまう。変換効率を高めるためにはより一層、低抵抗、高光透過率化する必要がある。従来より、特性が異なった膜を、薄膜で積層すると、これまでに見られなかった

ような特性を有する膜を作製することができることが報告されている。これを太陽電池の窓層に応用するために、バンドギャップが異なるp型 a-SiC を積層することによって作製を行った。電気光学特性の測定には、(a-SiC_x (40 Å) / p · a-Si (60 Å)₂₀ および p · a-SiC_y (2000 Å) の 2 つの試料を用いた。光学バンドギャップはどちらとも 2.0 eV₂₀ である。この試料の縦方向の光伝導度を測定した結果単一膜が $\sigma_{p\perp} = 4 \times 10^{-7}$ (s/cm) であるのに対して、積層膜では、 $\sigma_{p\perp} = 2 \times 10^{-6}$ (s/cm) であり、同じ透過率の膜でありながら、低抵抗な膜が得られることがわかった。さらに p/n 接合を形成し、ダイオードの収集効率を測定し、解析を行ったところ、積層膜は単一膜に比べて、電子拡散長が大きいことがわかった。また実際に、アモルファス太陽電池の窓材料に a-SiC 積層膜を用いることにより、変換効率 $\eta = 12\%$ 、FF = 0.77 と良好な特性が得られた。今後 p 型 a-SiC 積層膜において電子伝導特性が改善される原因について、詳細な検討を行っていく必要があるものと思われる。

C5 光 CVD アモルファス超格子構造膜の電気的特性と太陽電池への応用

三洋電機（株） 樽井 久樹・岡本 真吾

中村 昇・津田 信哉

中野 昭一・桑野 幸徳

a-Si/a-SiC 超格子構造膜を光 CVD 法で初めて形成し、グロー放電法による超格子膜や混合組成のアロイ膜に比べ優れた特性を持つ材料であることを見い出した。この a-Si/a-SiC 超格子構造膜は X 線回折やオージェ分光による構造解析の結果、良好な周期性を持つことが確認された。また光学的仕事関数の測定の結果、バンドオフセットの値は、 $\Delta E_{\text{a}} = 0.29 \text{ eV}$ 、 $\Delta E_{\text{s}} = 0.19 \text{ eV}$ で伝導帯の方に大きなオフセットが観測された。

垂直方向の電気的特性について解釈を行なった結果、暗状態ではトンネル電流、Frenkel-Poole 電流が、電界の変化に伴なって観測された。さらに、この超格子構造膜の活性化エネルギーは 0.32 eV と通常の a-Si、a-SiC 膜に比べ大幅に低いことがわかった。

この a-Si/a-SiC 超格子構造膜にボロンをドープすると、高い導電率が得られ、良好な p 型の広バンドギャップ材料となる。この超格子構造膜の太陽電池窓層への応用の検討を行なった。その結果、広バンドギャップ化による短波長光の有効利用だけではなく、従来のアロイ膜と異なり超格子構造膜中で発生したキャリアも発電に寄与していることがわかった。また短波長光の有効利用をさらに進めた結果、UV センサーとしても応用が可能であることがわかった。

このように、超格子構造膜は従来の单一組成の膜に比べ優れた特性を持ち、太陽電池やセンサの性能向上に有効であることがわかった。

本研究の一部は工業技術院サンシャイン計画の一環として NEDO より委託され実施したもので関係各位に感謝する。

D 1 アモルファス半導体超格子の光学吸収裾の理論的解析

慶大理工 米 沢 富美子

太陽電池の効率向上という観点からは、光吸収効率のみでなく、電子と正孔の対を抽出できる効率も考慮しなければならない。アモルファス半導体超格子において、層厚の変化により光学ギャップのコントロールをするのは前者に相当するが、その際必然的に後者も影響を受けることを忘れてはならない。すなわち、層厚を変えたとき、光学ギャップのみでなく、指数関数型裾の幅も系統的に代わることが実験的に確かめられている。指数関数型の裾の幅は、太陽電池における電子－正孔対抽出効率を左右する要因である。具体的には、指数関数型の裾の幅 E_u は、(バリア層の厚さ一定の条件下で)井戸層の厚さ L_w が小さくなるとともに、増大することが報告されている。

こういう状況をふまえて本研究では、層厚の変化が指数関数型の裾の幅にどのような効果を及ぼすかを、理論モデルをたてて調べた。

この仕事の結果をまとめると次のようになる。

(1) 対角項 ε_{ij}'' のゆらぎの大きさが、井戸層厚の大きさに左右されずに一定であるとしても、井戸層厚の減少、すなわち系の次元がより2次元的様相をおびるにしたがって、ゆらぎの大きさの実質的な効果はより深刻になり、その結果はより局在する傾向にあり、 E_0 や E_u は増加する。

(2) 対角項の ε_{ij}'' のゆらぎの大きさが、井戸層厚の大きさに左右されずに一定であるとし、かつ井戸層厚 L_w のばらつき δL_w が井戸層厚 L_w の如何によらず一定であるとしても、 δL_w の δv_z への効果は、 L_w が小さいほど(系の次元がより2次元性に近いほど)顕著になり、その結果、 E_0 や E_u は増加する。

(3) 実際には対角項 ε_{ij}'' のゆらぎの大きさは、井戸層厚の違いによって界面の効果の効き方が変わるので、井戸層厚の大きさに左右されると考えられる。したがって、井戸層厚 L_w の減少とともにゆらぎの効果はますます深刻になる。

以上の議論では、系の構造の量的乱れ、トポロジー的乱れをすべて対角項 ε_{ij}'' に背負わせているが、非対角項 V_{ij} も乱れがあるとするモデルを用いても、本質的な結論は変わらない。

(4) 以上の結果から (a) 層厚のばらつきをなくし、(b) 井戸層厚とバリア層の界面効果を小さくする工夫をして、井戸層内のトポロジー的な乱れが小さくなるようにすれば、指数関数型の裾の幅 E_u が大きくなるのを防ぐことが出来る。その結果、光吸収効率と電子－正孔対抽出効率の両方が改良され、太陽電池の光電変換効率を上げることが可能になる。

D 2 a-Si 量子井戸構造中のサブバンド間光学遷移の観測

阪大基礎工 服部公則・岡本博明
浜川圭弘

アモルファス半導体バルクと量子井戸における光吸収スペクトル形状はこれまでの研究結果が示すように区別することが難しい。これは主に（層に平行な方向における） k 選択則の緩和に起因すると考えられる。このような場合、それらのスペクトルの微分形の評価が一般に有効である。この観点から我々は微分吸収分光法（光熱変調、波長微分分光法）を用いて量子化されたバンド（サブバンド）構造の観測を試みた。試料としては SiO_2 ガラス基板上に形成した $a\text{-Si}/a\text{-SiC}$ 多重量子井戸構造及び $a\text{-Si}$ 単一薄膜を用いた。（ $a\text{-Si}$ 単一薄膜は SiO_2 ガラスまたは真空との界面に生ずる非常に大きなポテンシャルバリアのためにそれ自身単一量子井戸系を構成している。）光熱変調分光法では励起光の周期的照射により試料の温度、即ち帯端間エネルギーの変調を行い、吸収スペクトルの帯端間エネルギーに対する微分形を検出できる。また波長微分分光法では直接的にその波長微分形を観測する。両者ともにアモルファス半導体量子井戸におけるサブバンド間光学遷移に対しては階段形となると予想される。 $a\text{-Si}/a\text{-SiC}$ 多重量子井戸および $a\text{-Si}$ 単一薄膜について測定した温度変調、波長微分スペクトルはそれらの $a\text{-Si}$ 井戸層幅が $40\text{--}50\text{\AA}$ 以下となったとき量子化領域において予想された階段状のふるまいを示した。サブバンド間の遷移エネルギーに対応するステップ端のエネルギー位置を1次元量子井戸モデルを用いて解析したところ、電子および正孔の有効質量としてそれぞれ $0.3m_0$ 、 m_0 (m_0 は自由電子の質量) という値が得られた。

D 3 アモルファス超格子 $a\text{-Si : H}/a\text{-Si}_{1-x}\text{N}_x : H$

岐阜大工 仁田昌二・伊藤貴司

野々村修一

物性研 森垣和夫・太田洋

従来アモルファス超格子の光学的性質は有効媒質近似で表わされたが、井戸層厚がガウス分布をもつランダム超格子の場合は、各層での多重反射を考慮しなければ説明できないことを示した。

- ランダム超格子の光反射スペクトルの解析には各層からの反射を考慮する必要がある（有効媒質近似のできない領域）。膜厚の決定には長波長領域の干渉パターンから決めることができる。
- 短波長領域のスペクトルから決定される光学定数が超格子の特徴を表わしているかどうかは充分

に検討する必要がある。

c) 周期性をもつアモルファス超格子は、ほとんどの領域で有効媒質近似が成り立つ。

D 4 a-Si : H / a-Si₃N₄ : H 超格子における ルミネッセンスの温度依存性

物性研 山 口 政 晃

a-Si : H (井戸層厚, L_w = 6 Å ~ 210 Å) / a-Si₃N₄ : H (バリアー層厚25Å一定) のルミネッセンス (PL) の温度依存性 (7K ~ 380K) をL_w の関数として、Ar⁺レーザー光 (20mW) を用いて測定した。測定結果を PL スペクトル (ピーク位置 E_p と半値幅 ΔE) と PL 強度 I_p について整理した。E_p は、温度の上昇とともに、低エネルギー側に移動し、L_w の減少とともにその移動は小さくなる。ΔE は、温度の上昇で減少し、ある温度で極小値を示しその後増加する。その温度は、L_w の減少で高温度側に移動する。ΔE は、L_w の減少で増加する。I_p は、温度の上昇で、30~50K付近で極大を示し、その後弱くなる。180K以下の低温領域の PL 効率 η は、L_w の減少で低下し、L_w = 20 Å 以下ではほぼ一定値を示す。この低下は、超格子界面に存在する欠陥による非輻射再結合によると考えられる。高温領域では、L_w の減少で、η の上昇がみられ、量子井戸での閉じ込め効果と考えられる。I_p の温度依存性は、 $I_p(T) = I_0 [1 + C \exp(T/T_e)]^{-1}$ で記述でき (I_p は低温での I_p の飽和値), T_e でその依存性が記述され、L_w の減少で T_e が増大する。T_e は伝導帯緒の捕獲電子の熱励起による非輻射再結合と正孔との輻射再結合との競合を考えたモデルから、伝導帯の指數関数緒幅 E_e と関係づけられ、光吸収から求めた E_e とよい相関を示す。結論として、PL スペクトルとその強度の温度依存性は、超格子の E_e の大きさと強く関係していることを明らかにした。

D 5 a-Si : H / a-Si₃N₄ : H 超格子における時間分解 ルミネッセンス、時間分解 ODMR

物性研 萩 原 千 聰

a-Si : H / a-Si_{1-x}N_x : H 超格子について、時間分解ルミネッセンス、時間分解 ODMR の測定を、パルス光励起 (波長510nm 又は443nm, 幅10ns, 強度110kW/cm²) により温度 2Kで行い、電子正孔再結合過程の研究を行った。

1.4eV のルミネッセンス強度の減衰は、遅延時間 t_d < 2 μs では、井戸層の厚さ L_w の減少とともに早くなる。これは、電子、正孔が井戸層に閉じ込められるため、その密度が L_w の減少とともに増加し、輻射再結合率が増加するためである。t_d > 5 μs では逆に、L_w の減少とともにルミネッ

センス強度の減衰は遅くなる。電子、正孔のダングリングボンドを通じての非輻射再結合は、 L_w がダングリングボンド間の平均距離に比べて小さくなると抑制される。さらに、 t_d が大きくなると電子、正孔の数は減少し、電子正孔間距離は L_w に比べて大きくなり、輻射再結合も抑制される。このように、2次元的な性質が現れると再結合は抑制される。これらのこととは、時間分解 ODMR で観測された A 中心の信号の $\Delta I/I$ の t_d 依存性の結果と一致している。 $\Delta I/I$ は、閉じ込め効果による輻射再結合率の増加のために t_d とともに急激に増加するが、 $L_w \sim 10 \text{ \AA}$ の試料では輻射再結合の2次元的な性質のため $\Delta I/I$ の t_d に対する増加はゆるやかになる。ただし、ポテンシャル井戸が深く、 L_w の小さい試料では、A 中心が存在しないため、その信号が観測されなくなる。

（6）a-Si : H/a-Si₃N₄ : H 超格子の蛍光減衰のランダムウォーク・モデル

D 6 a-Si : H/a-Si₃N₄ : H 超格子の蛍光減衰のランダムウォーク・モデル

日大文理・村山和郎
 100 Å の共通の障壁層 (a-Si₃N₄ : H) をもち、井戸層 (a-Si : H) が 8, 13, 25, 50, 400 Å の 5 種の超格子を準備し 1.4 eV の蛍光の研究を行った。5 種の超格子を 2.41 eV のパルス光で励起し、4.2 K と 77 K で 1.4 eV の蛍光バンドの減衰を観測した。4.2 K における 400 Å の試料の蛍光減衰はすでに報告されている a-Si : H 膜と同じく 2 つの拡張指数型減衰関数を用いて経験的に合わせることができる。それぞれの有効寿命は $1.7 \times 10^{-6} \text{ sec}$ ($\beta = 0.5$) と $2.5 \times 10^{-3} \text{ sec}$ ($\beta = 0.5$) である。井戸層の厚さが変わっても減衰の基本的な形は変わらなかった。Street は単純な指数減衰関数では記述できない蛍光減衰は励起された電子正孔対の電子と正孔間の距離が分布することによるとした。彼はその平均距離は 60 Å と見積もっている。この考えによると減衰曲線は井戸層が薄くなると次元性の効果で短寿命の方にずれなければならない。これは実験事実に反する。そこで我々は蛍光特に寿命の長い成分は三重項励起子の再結合によるとした。

77 K における 400 Å の試料の減衰は a-Si : H 膜と同じく 2 つの双曲線型減衰関数を用いて記述できる。これは電子正孔対の電子と正孔がそれぞれ独立にフラクタル的ランダムウォークし再結合することによると解釈されている。この場合、減衰関数の指数は空間の次元に依存する。そこで超格子を用いて指数の井戸層の厚さの影響を調べたところ、予想されているような指数の変化が観測された。

D 7 a-Si : H / a-Si₃N₄ : H 超格子における光誘起吸収

物性研 太 田 洋

光誘起吸収 (PA) はバンド間光励起による光吸収の変化であり、ギャップ内状態を調べる手段として用いられる。

バルク a-Si : H の場合は発光中心 (A中心) とダングリング・ボンド (D⁻) に関する PA が観測され、これらは 3 次元空間内の δ ポテンシャルから放物線バンドへの遷移を考えた Lucovsky の不純物吸収のモデルでよく説明される。直線化プロットの x 切片から容易に閾値が求められる。

井戸層厚が 10 Å 以上のアモルファス超格子の場合は、A 中心からの正孔の遷移のみが見え、スペクトルは Lucovsky のモデルでよく説明できる。閾値は K-P モデルに一致して上昇し量子化が確認される。井戸層厚が 10 Å 以下になると量子化準位の上昇は観測されるが、3 次元モデルよりも幅が拡がる。一方この厚さの試料では A 中心の ODMR が見られないことも考慮すると、このことは薄層化により A 中心が形成されなくなり、価電子帯裾に熱緩和分布 (ガウス型で近似) した正孔の遷移に変わることを示している。この変化は、A 中心が自縛自縛正孔であると考えれば、サイズ的制限や界面近傍の大きな応力により自縛を誘起するような格子緩和が不可能になるためとして理解できる。

いずれの場合も量子化に伴う終状態の不連続は観測されず、この段差は乱れの効果によって放物線に近い形に埋められていることが分かる。

終状態を量子井戸とした吸収スペクトルが求められ、現在これによる解析を進めている。

物性研短期研究会報告

物性研究における計算物理

代表者：寺倉 清之

国産のスーパーコンピュータが初めて導入されてから4年半経ち、今年からは第2世代のものが稼動している。また、今春には、「物性研究のための大型電子計算機センター」設置を目指して、計算機システムの大幅拡充の概算要求が物性研究所から提出された。こうした状況を背景として、物性研究における計算機の役割を改めて問い合わせるために上記題目の短期研究会が開かれ、現状報告がなされた。

「計算物理」の意味するものは、研究者毎に微妙なニュアンスの相違があるようであったが、計算機が物性研究において非常に大きな役割を果たしているという認識は共通であったと思われる。

本研究会では、「計算物理」という共通要素で結ばれた広い分野の研究者間の情報交換をスムーズにすることも大きな目的であったので、レビュー的講演の比重を大きくした。また、各分野での最近の興味深い成果をトピックス的に紹介する講演をおこなった。世話人からの難しい注文に答えて下さった講演者各位に感謝の意を表したい。但し、たった一度の会合ではこうした目的を十分に達成することは困難であり、一定の期間をおいて、継続的に会合を持つことが必要であると思われる。

研究会は大変な盛況であり、講義室に入りきれなくてドアの外で講演を「聞いている」参加者まで出る程であった。これは「計算物理」が物性研究での一つの大きな流れになりつつあることを示すものであろう。

なお、本研究会報告の詳しい内容を含む印刷物を作成する予定であり、ここでは以下にプログラムだけを掲載するにとどめる。

物性研短期研究会「物性研究における計算物理」

日 時 : 1988年 5月 30, 31日

場 所 : 東京大学物性研究所 旧棟 1階講義室

司会者 : 寺倉 清之, 安藤 恒也, 今田 正俊

金森順次郎, 高橋 実, 能勢 修一

プログラム

5月30日（月）午後 13:00~17:55

- (1) はじめに (10分) 寺倉 清之 (物性研)
(2) ランダムスピニ系における数値計算 (45分) 西森 秀穂, 尾関 之康 (東工大理)
(3) 相転移のモンテカルロ法による研究
　　-連続スピニ系を中心にして- (45分) 宮下 精二 (京大教養)
(4) CDW のダイナミックス (20分) 松川 宏 (物性研)
(5) 格子ガスモデルと表面 (20分) 金森順次郎 (阪大理)
- * * * * * * * 休み 15分 * * * * * * *
- (6) 量子系でのアプローチ (45分) 今田 正俊 (埼玉大理)
(7) 有限系の厳密な対角化による2次元 CuO₂ モデル (20分) 小形 正男, 斯波 弘行 (物性研)
(8) カオス -非線形力学から予測の問題まで- (45分) 相沢 洋二 (早大理工)
(9) 準結晶の電子状態 (30分) 藤原 毅夫 (東大工)

5月31日（火）午前 9:00~12:30

- (10) 準結晶のスピニ系の統計物理 (20分) 岡部 豊 (東北大理)
(11) 分子動力学法の新しい方法論について (45分) 能勢 修一 (慶大理工)
(12) 非晶質の MD (45分) 樋渡 保秋 (金沢大理)
- * * * * * * * 休み 15分 * * * * * * *
- (13) 化学反応をともなう多粒子系の計算機実験 (20分) 川勝 年洋, 上田 顯 (京大工)
(14) 量子輸送現象 (45分) 安藤 恒也 (物性研)
(15) 分数量子ホール効果 (20分) 吉岡大二郎 (九大教養)

* * * * * * * 昼食 60分 * * * * * * *

(MBE シミュレーションのビデオ上映)

5月31日（火）午後13：30-17：30

- (16) 電子状態の計算と MD (45分) 塚田 捷 (東大理)
(17) 表面物理 (30分) 吉森 昭夫 (阪大基工)
(18) アルカリ吸着 (20分) 石田 浩 (物性研)
- * * * * * * * 休み 15分 * * * * * * * 清水 明博
- (19) バンド計算の問題点 (35分) 浅野 摄郎 (東大教養)
(20) 不規則合金の電子状態 (20分) 赤井 久純 (奈良医大)
(21) 半導体中の不純物電子状態 (20分) 吉田 博 (東北大理)
佐々木泰造 (金材技研)
- (22) 一般討論

次に電子状態論は幾つかの出でる問題があるが、その問題を解くためにも、他の会員の方々の意見を聞きたい。

浅野 摄郎 (東大教養)

吉森 昭夫 (阪大基工)

赤井 久純 (奈良医大)

吉田 博 (東北大理)

佐々木泰造 (金材技研)

次に電子状態論は幾つかの出でる問題があるが、その問題を解くためにも、他の会員の方々の意見を聞きたい。

浅野 摄郎 (東大教養)

吉森 昭夫 (阪大基工)

赤井 久純 (奈良医大)

吉田 博 (東北大理)

佐々木泰造 (金材技研)

物性研究所談話会

日 時 1988年5月9日（月）午後4時～5時

場 所 物性研究所（物性研）旧棟1階講義室

講 師 石本英彦氏

（所属）

題 目 Search for Superfluidity of ^3He and Spin Wave Spectroscopy in $^3\text{He} - ^4\text{He}$ Solution

要 旨 :

$^3\text{He} - ^4\text{He}$ 混合液中の ^3He 超流動転移は古くから予言されているが、未だ発見されていない。ここ数年我々はこの転移の探索に挑戦してきたが、その過程で ^3He NMR の吸収線に定在波スピン波によるピークを見出した。それらの結果と予想される ^3He 準粒子間相互作用について述べる。

日 時 1988年5月16日（月）午後4時～5時

場 所 物性研究所 旧棟1階講義室

講 師 Dr. G. Shirane

（所属） Brookhaven National Laboratory

題 目 SPIN CORRELATIONS IN HIGH T_c SUPERCONDUCTORS

要 旨 :

A review is given of current neutron scattering experiments on $\text{La}_2\text{CuO}_{4-\delta}$ and $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$. It is now established that CuO_2 layers in both of these high T_c crystals exhibit 2D antiferromagnetic order at appropriate oxygen concentrations. This magnetic coupling has been considered to play an important role in their superconductivity. We will discuss, in some detail, the nature of these magnetic correlations, in particular the unique 2D characteristics of the spin dynamics observed in large single crystals of $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$.

日 時 1988年5月23日（月）午後4時～5時

場 所 物性研究所 A棟2階輪講室

講 師 樽茶 清悟氏

（所属） NTT 基礎研究所

題 目 AlAs/GaAs 多重量子井戸構造における連続共鳴トンネリングのダイナミクス

要　旨：
隣接する量子井戸の基底準位と励起準位を縮退させると共鳴効果によって負性微分コンダクタンスが生じる。本講演では AlAs/GaAs 多重量子井戸構造における共鳴トンネリング特性を CW 発光・光電流測定、時間分解光電流測定を用いて調べた結果について述べる。とくに、トンネリングの動特性に着目し、共鳴効果によってトンネル時間が急激に減少すること、励起子発光が消失することを示すと共に、レート方程式を用いた連続トンネリングの解析により共鳴トンネル時間を導出する。さらに、得られたトンネル時間について、結合井戸での計算結果を比較し、議論する。

日　時　　1988年 6月 6日（月）午後 4時～5時
場　所　　物性研究所 旧棟 1階講義室
講　師　　渡部俊太郎氏
(所属)　　(東大物性研)
題　目　　10 TW 級サブピコ秒エキシマレーザーとその XUV レーザーへの応用
要　旨：

最近極限レーザーガスレーザーグループでは XeCl (308nm), KrF (248nm) でサブピコ秒 1 TW を達成し、KrF では 10TW を得る努力を行っている。この光を集光すると 10^{20}W/cm^2 に達する光強度が得られ、“最も明かるい” 光源となる。この開発のプロセスを紹介するとともに、この光源を使った多光子イオン化、XUV 域への波長変換、多光子励起 XUV レーザーについて述べる。

日　時　　1988年 6月 16日（木）午後 3時～4時
場　所　　物性研究所 A棟 2階輪講室
講　師　　Prof. L. Eaves
(所属)　　University of Nottingham
題　目　　Magnetic Field Studies of Resonant and Non-Resonant Tunnelling in n-(AlGa)As/GaAs Double Barrier Structures

要　旨：

The electrical properties of a series of double barrier tunnelling devices with well widths between 5 and 60 nm are investigated. It is shown that the bistability effect in the current-voltage characteristics of a typical resonant tunnelling device can be removed by connecting a suitable capacitance or resistance to the device. These measurements cast serious doubt on the recent interpretation of the bistability as an intrinsic space-charge effect. In the stabilised section of the I(V) curve, at voltages above the main resonant peak, the

magnetoquantum oscillations observed with $B \parallel J$ are used to investigate tunnelling assisted by LO phonon emission and by elastic scattering processes. The resonant tunnelling device with well width 60 nm exhibits sixteen regions of negative differential conductivity. The effect of a transverse magnetic field $J \perp B$ on the resonances in the I(V) characteristics is investigated. At sufficiently high magnetic field, a transition from tunnelling into hybrid magnetoelectric quantised states to tunnelling into magnetically quantised cycloidal skipping states is observed.

日 時 1988年6月16日(木)午後4時～5時
場 所 物性研究所 A棟2階輪講室
講 師 Dr. P. Marquardt
(所属) Universität zu Köln
題 目 Size-induced Metal-insulator Transition in Metals and Semiconductors
要 旨 :

We report on the size-induced metal-insulator transition discovered in tiny metal crystals. Here the electric conductivity drastically decreases with particle diameter below a few μm . On the other hand, in semiconductor crystallites a size-correlated inter-band absorption blue shift was observed. The effects are a consequence of the quantum confinement in all three dimensions ("quantum dots") and hence are of universal character. In addition to their fundamental importance, the observations now allow the design of the ultimate microelectronic device and permit the engineering of novel devices as well.

日 時 1988年6月21日(火)午後4時～5時
場 所 物性研究所 旧棟1階講義室
講 師 Prof. Pierre Panissod
(所属) Institut de Physique et Chimie des Matériaux Université Louis Pasteur,
Strasbourg, France
題 目 NMR studies of electronic spin fluctuations in intermediate valent, Kondo
lattice and heavy fermion systems
要 旨 :

Using bulk susceptibility and NMR measurements the spin correlation time of the 4f or 5f electrons has been determined in a number of cerium, ytterbium and uranium com-

pounds. All studied systems exhibit intermediate valent to Kondo lattice or heavy fermions[†] properties. In 4f systems a universal thermal variation of the spin fluctuation rate Γ is found which scales with a characteristic energy related to the Kondo temperature of the compound. A possible breakdown of this universality due to crystal field is understood in terms of change of the degeneracy of the electronic state. In 5f systems such universality is less clear but qualitative similarities with 4f systems are observed in the thermal dependence of Γ . The results are discussed following a numerical calculation by Cox in the single degenerate impurity (Anderson's) model and exact Bethe Ansatz calculations.

物性研ニュース

東京大学物性研究所の助教授公募

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

(1) 研究部門名及び公募人員数

極限物性部門 極限レーザー 助教授 1名

(2) 研究分野及び内容

本研究所では、矢島、松岡、黒田、渡部の4所員を中心とするグループが、物性研究のための極限的性能を持つレーザーの開発と、これを使った物性研究およびX線レーザーの基礎研究を行っている。矢島所員は昭和64年3月末停年退官の予定である。

本公募の助教授は、極限レーザーの特徴を生かし、レーザー物理に根ざした新しい物性研究、特に固体物性の研究を行うことが要請される。

(3) 公募締切

昭和63年8月10日（水）必着

(4) 就任時期

決定後なるべく早い時期を希望する。

(5) 提出書類

(イ) 応募の場合

- 履歴書
- 業績リスト（必ずタイプすること）
- 主要論文の別刷
- 研究計画書（2000字以内）
- 所属の長又は指導教授等の本人についての意見書（宛先へ直送のこと）
- 健康診断書

(ロ) 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）
- 主要業績リスト（必ずタイプすること）
- 主要論文の別刷
- 出来れば研究計画書に準ずるもの

(6) 宛 先

〒106 東京都港区六本木 7 丁目22番 1 号
東京大学物性研究所 総務課人事掛
電話 03 (478) 6811 内線 5004, 5022

(7) 注意事項

（注） 極限物性部門 極限レーザー助教授応募書類在中、又は意見書在中の旨を表記し、書留で郵送のこと。

（8） 選考方法

東京大学物性研究所教授会で審査決定いたします。ただし、適任者のない場合は、決定を保留いたします。

（注） 昭和63年5月13日付第1回研究官選考会開催の件に付する「東京大学物性研究所長 田中誠守（美谷・原亨・関野・上野謙三）」

（注） 本件は、申請者より提出された書類の複数部を複数枚提出された場合、各部を別々に扱うものと見做す。また、複数枚提出された場合は、複数枚提出された各部を別々に扱うものと見做す。ただし、複数枚提出された各部を同一の申請として扱う場合は、複数枚提出された各部を同一の申請として扱う。

（注） 本件は、申請者より提出された書類の複数部を複数枚提出された場合、各部を別々に扱うものと見做す。また、複数枚提出された場合は、複数枚提出された各部を別々に扱うものと見做す。

日米科学協力事業「中性子散乱」物性研一エネルギー省、
原研一エネルギー省 合同運営委員会の開催

去る 6 月 6 日、7 日の両日にわたって標記運営委員会が物性研究所第 2 会議室において開催された。この委員会は、上記日米協力事業に関する運営方針を決定するため、エネルギー省、文部省、科技庁の代表者 3 名を正式メンバーとして毎年一回招集されることになっているが、本年度は物性研が世話を機関となってこれを招集したものである。

会議には、米国側からエネルギー省代表 D.K. Stevens 博士の外、ブルックヘブン研究所、オーリッヂ研究所を代表してそれぞれ M.Blume 博士、R.M. Moon 博士、又オブザーバーとして折よく滞日中の G. Shirane 博士が、又日本側は文部省（実施機関：物性研）を代表して山田、科技庁（実施機関：原研）を代表して飯泉仁博士、又オブザーバーとして東北大遠藤教授、阪大中井助教授、原研船橋博士が参加した。

会議は滞りなく進行し、例年の議題のほか（1）親協定である日米科学協力事業に関する協定の更改に際して、是非とも本協力研究事業を現在の実施取組をそのままひきつぐ形で継続すべきこと、（2）ブルックヘブン研究所で計画中の中性子散乱装置群の高性能化計画や、オーリッヂ研究所で計画中のいわゆる ANS 計画（超高中性束原子炉建設計画）に、本協力研究事業が積極的に参加する方向で検討すること、など重要な結論を議事録に止めて双方満足を表明して成功裡に閉会した。

又 6 月 6 日夕刻、物性所長招待による歓迎パーティが国際文化会館で開催され、会議参加者以外にも文部省から国際学術課本間調整官、柴田係長、又前研究代表者である星埜教授のご出席も得て、盛会であった。

なお、この会議の運営の成功は、研究所事務当局のきめ細かい配慮によるところが大であった。ここに記して感謝の意を表したい。

中性子回折物性部門

山 田 安 定

人事異動

所 属	職・氏 名	発令年月日	異動 内 容
凝縮系物性部門 （千葉工場）	助 手 平 林 泉	63.4.30	(休職中) 辞職
極限物性第一部門 極限レーザー	助 手 内 藤 研 象	63.5.17	休職
極限物性第一部門 超 低 温 物 性	助 手 奥 田 雄 一	63.6.1	東京工業大助教授理学部へ 転勤

物性研究所夏期講座

「電子・中性子・光子で見る固体」

—物性研究所所員による固体物理学の最新のわかりやすい講義（程度は学部3年生以上）—

講 義：1988年7月8日（金）10：00～17：00

村 田 好 正（極限物性部門） 電子線と表面物性

吉 澤 英 樹（中性子回折物性部門） 中性子散乱と物質科学

石 井 武比古（軌道放射物性部門） 高エネルギー光物性

場 所：東京大学物性研究所 講義室

（物性研究所A棟の向い側建物（Q棟）1階）

地下鉄日比谷線「六本木」または千代田線「乃木坂」より徒歩5分

聴 講 料：無料

問い合わせ先：電話03-478-6811 内線5011, 5013

東京大学物性研究所における大学院修士

及び博士課程進学ガイダンスのお知らせ

(物理学・化学・地球物理学・鉱物学・物理工学各専攻)

物性研究所における大学院教官の研究室に進学を希望される方のための説明会を下記要領で開きますので、関心をお持ちの方はお集まり下さい。

記

日 時：昭和63年7月9日（土）13：00～

集合場所：東京都港区六本木7-22-1

東京大学物性研究所内

Q棟講義室（Q棟1階）

行事予定：13：00～13：40 概要説明

13：40～18：00 研究室見学

研究室見学終了後、教官との懇談会を予定しています。奮ってご参加下さい。

物性研究所に関する資料——物性研究所要覧及び大学院教官名とその研究内容等——を希望される方々には予めお送りしますから、その旨文書にて物性研究所庶務掛にお申し出ください。

住所：〒106 東京都港区六本木7-22-1

電話：(03) 478-6811 内線5011, 5013

東京大学物性研究所

（東京都港区六本木7-22-1）

TEL (03) 478-6811, 5011, 5013

FAX (03) 478-6811, 5011, 5013

E-mail: matsu@mp.t.u-tokyo.ac.jp

（E-mail: matsu@mp.t.u-tokyo.ac.jp）

Technical Report of ISSP 新刊リスト

Ser. A

- No. 1936 Surface Valence Transition in $\text{Yb}_x\text{In}_{1-x}\text{Cu}_2$. by Susumu Ogawa, Atsushi Fujimori, Shigemasa Suga, Masaki Taniguchi, Masami Fujisawa, Tadashi Shimizu, Hiroshi Yasuoka and Kazuyoshi Yoshimura.
- No. 1937 On the Triangular Incommensurate Phase in γ -Brass - Deformation of the Triangular Pattern -. by Hisashi Mitani, Yasusada Yamada, Shunichirou Koh.
- No. 1938 Superconducting Properties of the Pd-Se System. by Toshiro Takabatake, Masayasu Ishikawa and Alain Junod.
- No. 1939 Valence State of Copper Atoms and Transport Property of an Organic Superconducor, $(\text{BEDT-TTF})_2\text{Cu}(\text{NCS})_2$, Measured by ESCA, ESR and Thermoelectric Power. by Hatsumi Urayama, Hideki Yamochi, Gunzi Saito, Tadashi Sugano, Minoru Kinoshita, Tamotsu Inabe, Takehiko Mori, Yusei Maruyama, and Hiroo Inokuchi.
- No. 1940 Kinetic Energy of a Holon-Defect Bound State in RVB Wave Function. by Yoshinori Takahashi and Pascal Lederer.
- No. 1941 Mean Field Theory of RVB and Superconductivity. by Yoshikazu Suzumura, Yasumasa Hasegawa and Hidetoshi Fukuyama.
- No. 1942 Shubnikov-de Haas Effect and Fermi Surface in an Ambient Pressure Organic Superconducor $(\text{BEDT-TTF})_2\text{Cu}(\text{NCS})_2$. by Kokichi Oshima, Takehiko Mori, Hiroo Inokuchi, Hatsumi Urayama, Hideki Yamochi, Gunzi Saito.
- No. 1943 Deformation of Crystals Controlled by the Peierls Mechanism. by Shin Takeuchi and Takayoshi Suzuki.

- No. 1944 The Antiferromagnetism and Superconductivity in the Presence of Ho Moments in $\text{HoBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$. by Y. Kuno, N. Nishida, H. Miyatake, S. Okuma, Y. Watanabe, T. Yamazaki, M. Ishikawa, T. Takabatake, Y. Nakazawa, J. H. Brewer, S. R. Kreitzman and T. M. Riseman.
- No. 1945 Microstructures in Twinned Single Crystal of Tetragonal $\text{La}_{1.5}\text{Ba}_{1.5}\text{Cu}_3\text{O}_{7.11}$. by Kunio Suzuki, Masaki Ichihara, Shin Takeuchi, Hiroyuki Takeya and Humihiko Takei.
- No. 1946 A Calculation of Core Structure of $1/2 <111>$ Screw Dislocation in BCC Mo by Tight-Binding Recursion Method. by Kaoru Kimura, Shin Takeuchi and Kinichi Masuda-Jindo.
- No. 1947 Theory of NMR in Superconducting Multilayers. by Kazuhiro Kuboki and Hidetoshi Fukuyama.
- No. 1948 Magnetic Field Effects on the Specific Heat of Nearly Ferromagnetic Metals. by Shigeo Shioda, Yoshinori Takahashi and Tōu Moriya.
- No. 1949 New Universality Class of Antiferromagnetic Phase Transition in CsMnBr_3 . by Hiroaki Kadowaki, S. M. Shapiro, Toshiya Inami and Yoshitami Ajiro.
- No. 1950 Characterization of a Non-Superconducting Cuprate, $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{YCu}_2\text{O}_{8.5}$. by Tsuyoshi Tamegai, Akiko Watanabe, Kei-ichi Koga, Isamu Oguro and Yasuhiro Iye.
- No. 1951 Nuclear Spin-Lattice Relaxation in the Invar-Type Itinerant Ferromagnet $\text{Lu}(\text{Co}_{1-x}\text{Al}_x)_2$ ($x = 0.125, 0.15$). by Kazuyoshi Yoshimura, Yoshihiro Yoshimoto, Mamoru Mekata, Kazuaki Fukamichi, Hiroshi Yasuoka.

- No. 1952 Anomalous Temperature Dependence of Cu Nuclear Spin-Lattice Relaxation in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.91}$. by Takashi Imai, Tadashi Shimizu, Hiroshi Yasuoka, Yutaka Ueda, Koji Kosuge.
- No. 1953 Static and Dynamic Properties of Charge-Density-Waves Described by the Fukuyama-Lee-Rice Model III. Numerical Study on the dc Nonlinear Conduction. by Hiroshi Matsukawa.
- No. 1954 Observation of Antiferromagnetic Nuclear Resonance of Cu in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_6$. by Hiroshi Yasuoka, Tadashi Shimizu, Yutaka Ueda and Koji Kosuge.
- No. 1955 Observation of XUV Amplification in 3-2 (42~46 Å), 4-3 (130.5 Å) and 5-4 (305 Å) Transitions in Laser Produced He-like Al Plasma. by H. Kuroda, K. Muroo, K. Naito and Y. Tanaka.
- No. 1956 Amplification and Gain Measurement of XUV Radiation (42.4 Å, 45 Å and 46 Å) in He-like Al Laser Plasma. by K. Muroo, Y. Tanaka and H. Kuroda.
- No. 1957 Bulk Superconductivity in $(\text{BEDT-TTF})_2[\text{Cu}(\text{NCS})_2]$. by Tadashi Sugano, Kenji Terui, Shinji Mino, Kiyokazu Nozawa, Hatsumi Urayama, Hideki Yamochi, Gunzi Saito, and Minoru Kinoshita.
- No. 1958 Synthesis, Crystal Structure, and Physical Properties of the Charge-Transfer Complex Bis [benzo [1,2-*c* : 3,4-*c'* : 5,6-*c''*] trithiophene]-tetrafluorotetracyanoquinodimethan, $(\text{BTT})_2(\text{TCNQF}_4)$. by Tadashi Sugano, Takashi Hashida, Akiko Kobayashi, Hayao Kobayashi, and Minoru Kinoshita.

- No. 1959 High-Repetition-Rate Amplification of Tunable Femtosecond Pulses with a Q-Switched CW Nd : YAG Pumping Laser. by Yuzo Ishida, Takashi Tokizaki and Tatsuo Yajima.
- No. 1960 Implications of Band-Structure Calculations for High- T_c Related Oxides. by Key Taeck Park, Kiyoyuki Terakura, Tamio Oguchi, Akira Yanase and Minoru Ikeda.

編集後記

本号は酒井、安藤両氏の原稿をいただくことができ、また所内シンポジウムや短期研究会の記事もあって盛沢山の号となりました。物性研の現状を知っていただく一助となれば幸いです。物性研だよりを、物性研と外部利用者の交流の場とするため、御原稿はもとより、御意見、御提案を御寄せ下さい。御待ちしております。なお、次号の締切りは8月10日です。

編集委員 三浦 登
斎藤 軍治

