

物性研だより

第26巻
第6号

1987年 3月

目 次

○物性研超低温グループに着任して	久保田 実	1
○客員の半年間を振り返って	利根川 孝	4
○「物性研の物質開発計画について」への感想	国府田 隆夫	6
研究室だより		10
○超低温物性 生嶋研究室	生嶋 明	10
○共通測定系 磁気測定室	古賀 珪一, 小黒 勇	17
物性研短期研究会報告		22
○ナノ変調構造磁性体の物理的諸問題		22
世話人 藤森 啓安, 高橋 實, 権藤 靖夫 能勢 宏, 立木 昌, 安岡 弘志 新庄 輝也, 三浦 登		
○結晶核形成と成長		47
世話人 中田 一郎, 村田 好正, 後藤 芳彦 河津 璋		
物性研究所談話会		57
物性研ニュース		60
○東京大学物性研究所 助手の公募		60
○人事異動		61
○テクニカルレポート 新刊リスト		62
編集後記		

東京大学物性研究所

ISSN 0385-9843

物性研超低温グループに着任して

久保田 実

昨年10月に西独ユーリッヒ原子核研究センター^{*}固体物理研究所からやって参りました久保田です、どうぞ宜しくお願いします。ユーリッヒでは超低温物理グループにその形成の初期段階で加わり、二段の核断熱消磁冷凍機の建設に参加し、物性研のグループとともにマイクロケルビン(μK)の物理研究の草分けにたずさわって来ました。この度、8年半ぶりに帰国し、大部門制のトップバッターとして先輩諸先生方の御努力でスタートし、世界に数少ない μK 領域までの実績のある物性研のグループに私が加わる事ができましたのは実に幸運と思います。

物性研をはじめ日本の研究機関から訪問される方もかなりの数になりますから御存知の方も多いと思いますが、ユーリッヒは西独西部デュッセルドルフ、ケルン、及びアーヘンという3都市を結ぶ三角形の真中にある人口3万人程のローマ時代に端を発する街で、研究所はそこから6km程離れた森の中にあります。そんな小都市から突然東京のような大都会の中の研究所へやって来て浦島太郎の気分を味わっているこの数ヶ月の私です。ユーリッヒは小都市ではありますが、道路交通の便(自動車)には恵まれ、ベルギーやオランダとの国境へは30分以内で到達できますし、上記3都市へも行こうと思えば30~45分で行けます。(130km/hが高速道上の標準速度、市街地以外の速度制限は100km/h)この辺りは二次世界大戦末期連合国軍が抵抗する独軍を追って空爆を重ねた末激しい地上戦闘を交えた所でもあります。ユーリッヒも全く月面の様な廃墟から戦後復旧。研究所ができたのは物性研とほぼ同時期です。

多民族が隣接し、侵略、他民族指配、被指配、戦争の歴史を繰り返して来たことを背景にしているのでしょうか、現今の欧州で私が学んだ最大のことの一つは——ちょっと大げさですが——「相異を認め合うこと」ではなからうかという気がします。この点は研究活動までも含む様々な社会生活の中で折に触れ思い知らされる点であったように思います。人や物を評価するのに「AはB及びCより優れている」というよりは「AはB、Cより個性的である、違っているから存在価値がある」という議論の方がどちらかと言えば強いように思います。“フランスの方がよりファッションナブルであり美食家だとは思っていても 自から‘世界一立派な住い’を捨ててフランス人の真似をしようとドイツ人は思わないで、つつましやかな食事と実質的な衣類をまとう”といった例え話にも表われています。自然環境の違いがそうさせているだけではなさそうな事は、国境を越える度に気づく街づくりの変化などからもうかがえます。

とは言っても「物性研だより」'87年1月号に Bauer さんが書かれているように国の違いより世代の

* Institut für Festkörperperforschung (IFF) der Kernforschungsanlage (KFA) Jülich

違いの方が大きいという事の方が多いのかも知れませんが。ただ日本から短期に訪れる方々が時折口にされる「欧州は遅れていますね、彼らは働かないですからね。」と片づけてしまうにはあまりにも“違い”は大きく、それ故に詳しく見てみるに値すると私は思います。

KFAは4千5百人を擁する大研究センターで固体物理研（IFF）は、その内部の一研究所であります。と同時にIFFはシュツツガルトのMax Plank 固体物理研と同時期に発足、対をなして西独の物性研究の中心研究所と位置づけられ、両研究所間では定期的に研究方針の調整、研究成果評価の会議が互いに会場を変え行われて来ました。

物性研を弱干上回る人員を配したIFFの運営は11人の研究“室長”で構成する“室長会議”が実際の権限を持っています。所長は其中で互選で1年任期で決まり、対外的な代表であると共に、金工（30名）、エレクトロニクス（15名）、寒剤供給（6名）、事務部（6名）等共通施設の各長の上に立つのもその役目です。

所長は年2回半期ごとの所員集会（大学院学生から技術職員、客員を含む全研究者、事務職員全てが対象）でその期の研究所としての成果をまとめ、次期の方針、計画を説明します。重要問題については各部局で事前に議論されますが、院生であれ技術あるいは事務の職員であれ直接最高責任者に対して質問をし、意見を述べる機会があるのはよいものです。研究所で働くすべての人々の自身の仕事を全体の動きの中に位置づけるのに役立つ、働く意欲を向上させるものだと思います。又部門の違う人々が一堂に会するので、普段は機会のない人々が互いに知り合いになることもあります。

KFA全体が決める大ワク（それは激変することもある訳ですが）の範囲内では、人事、予算について絶対的とも言える権限を持つ室長ですが、その下で働く人々が、5年ごとに「O.K.の合意」を示してはじめて長期に亘って権限を持ち続けられます。その点助手だけが任期を持つのと異なります。

今まで述べて来ましたのはKFAの、特にIFFの運営ですが、13ある西独の公的大型研究機関はそれぞれにその研究機関の目的に沿ってかなり違った運営方式がとられているようです。大学になると日本のそれと共通する部分も出てくるでしょう。

今回、私の移動に伴い、私がユーリッヒで数年来建設を進めて来まして完成したばかりの小型研究装置の移設が双方の研究所関係者の尽力で実現する運びとなりました。関係者の方々にはここで改めてお礼申し上げます。物性研では前例のなかった事だそうで関係の方々には大変な御苦勞をおかけしました。但、我国の国立大学の研究所がいかにかこうした問題について国際的慣行とは無縁であったかという事、と又“研究者”の発言権が制度的にいかにか低いかという事を学ぶ機会となった様に思います。激動する世界の中で日本の研究者への期待の目が増々強く向けられている時何かかなされなければならなくなるような気がします。

さて、超低温の世界ですが、我国ではじめて液体ヘリウムが使えるようになった1950年代は、世界の低温研究も大きな転機でありました。それまでの超流動ヘリウムの実験的研究の蓄積や低温磁性

体、様々な超伝導物質についての知見が集積する中、超伝導についてのBCS理論が成功を収め、又フェルミ液体理論が登場、そしてこれらと前後して人工的に造り出された少量のガスを液化して液体 ^3He のフェルミ液体としての性質が実験的に明らかとされてゆきました。BCS理論を拡張した有限の角運動量をもつフェルミ粒子対からなる超伝導及び超流動の理論的検討が続きました。これは長い実験的努力の末、2mK近くまでの低温を液体中に実現することにより1972年の液体 ^3He の新しい超流動相の発見へとひき継がれました。

我国での低温物理の実験的研究の発展は諸先生方によって語られていると思いますが、1950年代のHe液化機導入以来の目覚ましい研究の躍進によって現在に到っています。これはHe液化機の普及（その中には二つのグループによる自主開発もあります）、60年代後半からの稀釈冷凍機の建設、70年代後半からの核断熱消磁法の開発が国内複数グループによって展開され、量子固体である固体 ^3He 、量子液体 ^3He 、 ^4He 及びその混合液に関連した様々な研究の成果へと結実して来ました。また新たな研究分野、超伝導電子対の巨視的スケールでのしみ出し現象の発見、電子や他の波動の局在の問題、低次元性に基く様々な物性、非平衡状態の物性等々も低温での重要な課題となって来ました。こうして1950年代まで地球上の極一部、欧州及び北米に局在していた低温物理の研究は我国に於いても大きな成果を生み出しています。これは先輩の先生方に負っている訳ですが、手放しで喜こんでばかりはいられません。追いつき追い越せで進んで来た訳ですが、自ずから新分野を切り開く開拓者精神とその実践が今後よりいっそう求められることでしょう。気になるのは装置が複雑になるのに加えて技術開発には時間がかかるのですが、研究の実質上の役割を担う助手や大学院生に対して特別の援助の手だてがない事です。

私自身、他の研究活動を続ける傍、KFA内の研究援助組織の全面的助けをかりて急速冷凍可能な超低温装置の開発に4年程の歳月を費しました。これは、 $100\ \mu\text{K}$ 以下までの温度で重要になる偏極状態の(核)スピンのdynamicsの研究、核磁気秩序、 $^3\text{He}-^4\text{He}$ 混合液及び偏極フェルミ液体の研究などを念頭に進めて来ました。今後物性研での条件を考え合わせ、具体的計画を立て、実行して行きたいと思います。どうか宜しくお願いします。

客員の半年間を振り返って

神戸大学理学部 利根川 孝

昨年の4月から半年間、物性研に客員としてお世話になり、その任期が終了して、はや4カ月が経とうとしています。任期中は1カ月に2回、1回平均5日程度物性研に滞在し、斯波さんをはじめ理論部門の方々や、電子計算機室の方々のお世話になりながら、楽しく研究を続けさせて頂きました。せっかくの機会が与えられたのですから、もっと長い間滞在したかったのですが、神戸大学での講義や雑務のため、月に10日程度が精いっぱいだったことを、今更ながら残念に思っています。

さて、要覧にも書きましたように、私の物性研での研究題目は、“競合する相互作用をもつ量子スピン系の理論的研究”でした。よく知られていますように、競合する相互作用をもつ古典スピン系の特徴は、秩序パラメーターの変調周期が格子の周期に比べて十分長い、いわゆる長周期構造の出現にあるわけですが、このような相互作用の競合の結果として生ずる物理現象に対する量子効果の影響を調べようというわけです。具体的には、ともに反強磁性的な最近接および第2近接相互作用をもつ1次元格子上の量子ハイゼンベルグ模型（スピンの大きさは $1/2$ ）の基底状態の性質を、スピン数が20個までの有限系に対する種々の物理量（エネルギー、基底状態と第一励起状態との間のエネルギーギャップ、スピン相関関数、磁化曲線など）を厳密に計算し、その結果を無限系に外挿する方法を用いて調べました。結果の報告は別途することにいたしますが、この計算において、最大184756行184756列の大きさの行列の最低固有値、その次の大きさの固有値、および最低固有値に対応する固有ベクトルを、本郷のスーパーコンピュータを利用して求めました。用いたプログラムは、分子研の滝本さんにお借りした coordinate relaxation 法のプログラム、および東京工大の田口さんと西森さんによる Lanczós 法のプログラムで、これらのプログラムの使用をお許し下さった3人の方々に、厚くお礼を申し上げます。

ところで、物性研では、再々斯波研、寺倉研、守谷研などにお邪魔し、コーヒーやお茶をご馳走になり、色々と話を伺ったり、物理の面でも、斯波さん、福山さんや最近埼玉大に移られた今田さん等から、有益な議論を頂きました。また、たいていは宿舎に泊まっていたのですが、その折には、他大学から来ておられる多くの方々と雑談をしたり、六本木の飲み屋でアルコールを楽しんだりしました。これらの事は、私にとって、客員になってはじめて得ることの出来た貴重な経験でした。しかし一方、物性研の計算機が能力不足であるため、上述の計算を行うのに、本郷の計算機を用いざるを得なかったことは、大変残念なことでした。客員研究員という制度が設けられている目的が、要覧にも示されているように、“所外の研究者がやや長期にわたって物性研の施設を利用して研究を行う便宜を提供すること”であるならば、物性研の計算機を単に本郷の計算機の入出力装置としてしか利用しなかった私は、物性研の施設を十分に利用しなかったという意味で、客員として失格であったかも知

れません。しかし、計算物理という分野が確立されつつあり、一昨年11月の日本物理学会誌の特集“物性における計算物理”を見るまでもなく、大型計算機を用いた物性物理の研究が盛んに行われている今日、現在の物性研の計算機はおそまつであると言わざるを得ないのではないのでしょうか。物性研にも、分子研、高エネルギー研、プラズマ研のものに劣らない計算機が導入されて、物性物理の研究者の共同利用に供される日が、一日でも早く来ることを願うのは、私一人ではないと思います。このことの実現に向けての所員の方々のご努力を、お願いする次第です。

この原稿は、本来昨年の11月末までに書き上げねばならなかったものでした。一度は約束しておきながら、私の個人的な都合で今日迄延び延びになってしまい、田中さん、寺倉さんはじめ図書委員会の方々にご迷惑をおかけしたことをお詫びいたします。

またお世話になることもあるかと思しますので、その時はよろしくお願いします。半年間、どうも有難うございました。

「物性研の物質開発計画について」への感想

東大工 国府田 隆 夫

豊沢先生。

多年にわたる物性研での御研究生活の締めくくりの時を迎えられて、とりわけて御多忙な日々をお過しのことと拝察します。早速ですが、そのような御多忙の中で「物性研だより」本年1月号にお書きになった標記の御意見を拝見して、その読後感といったものを私信の形でお伝えしようと筆をとりました。この問題は先生が多年にわたって御腐心されていた事柄であり、また私にとっても今迄折に触れて考えてきた問題ですので、まとまりありませんが今迄の先生の御苦勞に報いる気持も含めて、卒直な意見を述べさせていただきますと思います。

物性物理の研究において、強力な研究手段の開発と新物質の開拓とは車の両輪であるという御意見で、これに関しては、一般論として、私もそうあって欲しいと念願しています。しかし実際問題としてはこの点にこそ深く掘り下げて考えねばならない問題があるのではないかと思います。特定の目標に向って総体的に前進して行くことを車の使命とすれば、車の両輪はまずしっかりと共通の車軸に据えられていないといけないでしょう。しかし、物性物理研究での手段開発と物質開拓とは仲々共通の車軸上で円滑に動きがたい性格をもっていると思われる点が難しい所です。これは私個人の限られた経験に基づく感想ですが、何故この両者が共通の車軸を持ち難いのか、それを一つの車軸に据えつけるためにはどんな具体策を構じなければならないかという点に、この問題を解く最も大きな鍵があるように思います。このことに関しては今迄にも何度か意見を述べてきましたので、^{1)~4)}ここでは同じような議論を繰り返すことは避けます。

今回の御意見の中で、「物性研の物質開発を他にないユニークなものとして高い確率で成功させる鍵は、物性研が現在もっている力と特色を最大限に活用することです」とお書きになっていられますが、この「現在もっている力と特色」という言葉が具体的に何を意味しているのか、これに続く御説明を読んでも小生にはあまりはつきりしません。言葉尻をとらえた言い掛かりとお取りにならないことを願ってもう少し補足しますと、「過去の物性研では意識的、意図的に新しい物質を開発しようとする努力は一部を除きあまり行われず（行われてもそれに対する正当な評価はなされなかった）」ような状態にあり、それは「研究の歩留りをよくするという見地」にもっぱら拠ってきたためという御考えのようです。これは残念ながらまさにその通りと私も思います。したがって、高度の手法の開発と物質開拓とを共通の車軸にしっかりと据え付けるという当面の課題の解決には、まずその車軸自体を新しく作ることが要件となるのではないのでしょうか。「研究の歩留りをよくする」というような状態がいくぶんでも要路の人々に意識されているようでは、問題は両輪の整備にあるのではないと思わざるを得ません。要路の人々は物性研に「夢とロマン」をもった新しい展開を期待し、高度な手法開発の担当者は国際

的な激しい研究競争に戦意を燃やし、また新物質開拓の当事者は広大な物質世界への挑戦に賭けるといふ、各者各様の意欲自体は大いに評価できるのですが、その全体を外部から見ての印象では、これらの意欲がそれぞれにまちまちで共通の車軸を欠き、そのためにともすれば当面の研究でさし当てる歩留りを良くすることが、個別的なグループ毎の主な目標となってきたように思われるのです。もちろん、研究所という大きな組織体としては、駕籠に乗る人、かつぐ人、そのまた草鞋を作る人、という重層的な構造をとることは免れがたいことです。このような組織体が健全に（共通の車軸をもって）機能するためには、この組織に所属する人々がそれぞれに自発的な帰属心（忠誠心）と連帯感で裏付けられた共通の目的意識をもつことが必要でしょう。そのためには、全ての人々が自分の努力が報いられるという安心立命感と信頼感をもつことが最も肝腎と思います。物質開拓の努力に対して、「それに対する正当な評価がなされなかった」といわれるような今迄の物性研の体質の根は、単に「研究の歩留りをよくするという見地」に拠っていたためばかりでなく、もっと奥深いところにあるように私には思われるのです。

この点に関して同じ号の「物性研だより」に物質開発室の武居さんがお書きになっている物性研、分子研、金研の比較論は興味深いものでした。その文面から推察して、物質開拓を両輪に組み込んでいるという点に関しては三者の中で金研が最も良い条件を備えているというのが、武居さんの御感想のように思われました。それぞれの特徴となっている要因として環境、通勤距離などを挙げていられますが、その差異のポイントは金研での講座制にあるというのが、そのお考えのようです。私も、優れた経験・学識・人格を兼備した教授が中心となってまとまった良き講座制の例をいくつか知っています。このような制度が理想的に運用されている場合には、それに所属する全ての人々がそれぞれにhappyな満ち足りた気持で仕事ができます。これは古代中国の五帝時代かプラトンの理想国のようなものでしょう。その理想境の実現は偏にそれに全責任をもった聖賢的な統率者を得るかどうかに懸っています。良き伝統というのは次代の責任をもつべきこのような資格を備えた後継者を組織全体で育ててゆく気風のことを言うのだと思います。しかし、現代の諸条件のもとではこのような理想に問題の解決を求めることは、きわめて困難となっているというのが私の考えです。（以前に書いた小文⁴⁾では、このことを仏教での末世思想に喩えました。）したがって物性研での物質開発の基盤を作るにあっても、その個有の条件に即した現実的な鍵をまず模索することが必要と思われる。

詮ずる所、物性研が現在直面している諸問題は、新しい手法の開発グループと物質開拓グループ、共同利用研としての所内外のグループ、さらには国際化した研究者社会での多様な人と人との関係を、どのように人間的なものにできるかということに尽きているように思います。この点に関して私が助手として在職していた20年前の物性研では、現在の分子研と同じようにその若さによる清新さから、このような配慮をそう必要とはしない昂揚した状態にあったように思います。（物性研ばかりでなく、当時は物性物理や社会全体も、まだ若々しかったようです。）これに対して、いまや成熟の時期にさしかかった

物性研が必要としていることは、円熟した講座制の理想境ではなく、壮年期にある研究所の多様で個性的な人間集団を共通な目的に結びつける絆を、理念論でなしにどう具体化してゆくか、その方策を工夫することだろうと考えます。そのような方策の一例として、最近凝縮系部門の斉藤さんが中心となって開かれている有機物質の若手研究会を挙げるができるでしょう。（自分で若手と思うなら実際の年齢は問わないそうですが。）このように研究者の中から自発的、自然発生的に生まれてきた活動は、たとえ限られた規模のものであっても、高く評価されるべきでしょう。それぞれの忙しさに取り紛れがちな日常の中で、即効的に当面の研究の歩留りを上げることに必ずしもつながらないこのような努力を惜しまない情熱に対して、「正当な評価」がなされるのが当然というように、物性研全体の雰囲気が変わってくることを望みたいものです。

最後に、豊沢先生の日頃の御持論である農耕民族と騎馬民族の比較についての感想を述べたいと思います。私の考えでは、少くともここでの問題に関して物性研が必要としているのは必ずしも後者の気風ではなく、むしろ前者のそれではなかろうかという気がいたします。騎馬民族といえば大規模な集団をなして大草原を疾駆する蒙古の軍勢を想像しますが、司馬遼太郎の近著「ロシアについて」（文芸春秋社）を読むと、騎馬放牧民族社会にもかなり不安定で脆い弱点があったようです。騎馬民族の英雄的な魂は貴ぶべきですが、大地の持つ本当の生産性、具体性、絶対性を体得した農耕民族の叡智も軽んずべからざるものです。騎馬民族の生命とする駿馬を最新の実験装置にたとえるなら、農耕民族の抱って立つ母なる大地はさしづめ豊饒な物質世界になぞらえることができるでしょう。前者を扱う新方式開発グループが、獲物を求めて未踏の荒野を駆けまわる騎馬民族の誇り高い荒魂を標榜するなら、物質世界に限りない可能性を求めて飽く努力を地道に続ける物質開拓グループは、農耕民族の謙虚な叡智を貴しとするでしょう。両者の性格の違いには研究所と学部の違いにも通じるころがあり、実際に物質開拓には学部的な雰囲気が適しているという考えも根強いようです。この性格の違いを無視すると、車の両輪どころかその車軸の有無を議論しなければならない事態となるというのが、私の日頃の考えです。

かつて我々の先祖の血に流れていた北方騎馬民族の荒々しい血が千年の歴史の重みで磨り潰されてしまったのではないかとお書きになっていますが、我国の最近の先端技術の進歩を見る外国の目はこれとは逆のように思われます。反対に我々の社会では農耕民族の心の深化が今なお末徹底である、という見方もありえましょう。大地のもつ真実性については、最近読んだ鈴木大拙の「日本の靈性」という本（岩波文庫）の中に、もっと詳しい考察が述べられています。しかし、これらのことはもはや物性研という枠を越えて広く文化全般の問題に及ぶ事柄ですので、いずれもっとお暇な時間が得られたときの閑談の話題に廻すのが適当のようです。ただ最後に、成熟期の物性研にとっては、その諸問題を今迄のように物性物理学という観点から考えるばかりでなく、もっと広い立場から（これは必ずしもいわゆる高い次元から、ということではありません）、本気になって考えることが必要な時期に至っ

たという気がします。二つの異った性格をもつ両輪を精神的に結びつける車軸についての議論は、煎じ詰めればこの点に至るのではないのでしょうか。

御意見の終りに、所外からの積極的な意見や提言をと書かれていることに甘えて、未熟な感想を書き連ねました。まだ暫く御多忙な日々が続くことと想像しますが、御自愛を祈っています。

(1987年2月17日夜)

- 1) 「物性研だより」10(3), p.8, 1970. 8.
- 2) 「物性研だより」20(5), p.12, 1981. 1.
- 3) 「物性研だより」20(6), p.1, 1981. 3.
- 4) 特定研究「物性物理学の動向」研究成果報告書第2部, p.179, 1984. 3.

研究室だより

超低温物性 生嶋研究室

生嶋 明

1. はじめに

何年か前に、やはりこの欄で研究室の紹介をさせていただきました。それがまだ1, 2年前のことのように思っていたのですが、物性研だよりの編集責任者である田中先生のお話では、各研究室を一廻りしてまた私の順番になったとのことで、本当に時の経つのは早いものだと思います。

そういえば、この前に研究室紹介を書いたのは、まだ超低温計画がスタートして、ようやく動き出したところだったことを思い出しました。その頃と現在の状態を比べてみると、所内外のご協力のおかげで、いわゆる超低温領域を生成することがまあまずは日常的な事になりましたし、そこで初めて出来るような実験のデータもそれなりに出てきたように思います。しかし物性研以外の超低温グループの研究が大変に活発で、物性研グループは、ここでもう一度並々ならぬ意気込みで本当に新しい物理の実験をしなければならないと思います。最近、スタートの頃に比べて、皆で物理の議論をすることもほとんど無く、新しい技術の検討をするような discussion の機会も無くなって、なにやら熱気が少し失せてきたように思うのは私の偏見でしょうか。

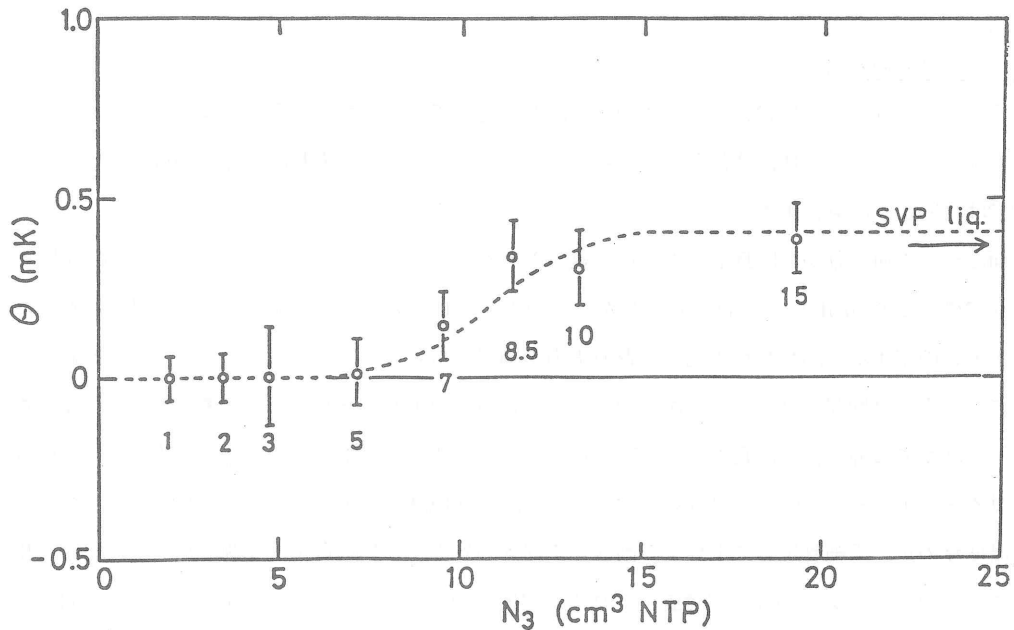
2. 固体表面に吸着した³He¹⁾

かなり以前から、液体³Heの中に大きな表面積を持ったものを入れると液体³Heの見かけの帯磁率が enhance されること、そしてその増加分は Weiss 温度が約 0.4mK の強磁性と見なせることが知られていました。たとえば、Mylar film, あるいは Pt やカーボンの微細粉などを液体³Heに入れると、このようなことが必ず起こります。ただ、その機構については 2, 3 の説はあったものの憶測の域を出ず、この現象の解明が急がれていたわけです。私達は、芳田 奎先生との discussion から、それならばこれまでのように液体がたっぷりある状態ではなく、それと逆の真空から始めて適当な固体表面に吸着させる³Heを次第に厚くし、この強磁性がどこでどのように出現するのかを見ようということにしました。恐らくこの問題にもっとも適した固体基盤は、Grafoil のような平坦度の高いグラファイトでしょうが、グラファイトは熱伝導度が小さいために超低温までなかなか冷えてくれません。そこで、我々は比較的純度が高く、またその粒子径をコントロールできる Ag の微細粉を焼結して substrate としました。この粒子径は約 700 Å で、1g で約 1m² の表面積を提供します。

もう一つの問題は、吸着³Heの核スピンのよる小さな磁化を測定することでしたが、こちらのほうはよくご存じの SQUID で何とか出来そうだと云うことになりました。

実験は、substrate である焼結 Ag の表面積をまず求めておいてから、 ^3He による磁化を ^3He 膜の厚さの関数として測定するというものです。ここでじつはあまり深刻に考えていなかった問題にぶつかってしまいました。それは substrate 自体がかなり大きな磁化を示すということです。原因はまだ確かめていませんけれども、これは Ag 中のなんらかの不純物のせいだと思われます。我々は市販されている Ag 超微粉ではなく、純度 99.9998% と称する Ag を原材料として、超微粉を製作して使用していますが、それでもこの lousy な問題から逃げ切れていません。 ^3He を全く入れない状態でこの background を正確に測定することを、いつも強いられているわけです。

それはさて置いて、前記のような測定を進めたところ、大変に興味深い結果が出てきました。それは、 ^3He の膜厚が 3 層あたりまでは帯磁率は Curie 則に乗っていますが (Weiss 温度 $< 20\mu\text{K}$)、4 - 5 層あたりから強磁性の様相が現れ始めて、その Weiss 温度がほぼ前に述べた 0.4mK となります。そしてこの値はさらに ^3He をいくら増やして、つまりじゃぶじゃぶと液体があるようにしても変わりません (第 1 図)。



第 1 図 焼結 Ag に吸着させた ^3He が示す強磁性。縦軸は Weiss 温度で、横軸は吸着させた ^3He の量を表す。図中の数字は ^3He 吸着膜の厚さを原子層数で表したものである。

われわれは次に吸着させる試料に ^4He を加えてみました。これはゼロ点エネルギーの違いで、 ^4He が固体表面に先に選択的に吸着される事実があるからです。つまりこの試みは、Ag-substrateの表面を先ず ^4He でカバーして、その上に ^3He を加えたこととなります。その結果、この強磁性は、 ^4He が2層も着けばもう完全に消失してしまうことが分かりました。

以上のことから、この現象は、まずsubstrate上に吸着した“固相”と考えられる1層あるいはそれよりもう少し厚い ^3He はごく低いWeiss温度を持つ強磁性相で、ただしその上にさらに液相である ^3He が乗って、初めてこのようなWeiss温度が約0.4mKもある強磁性相互作用が出現することと考えられます。そして、初めの“固相 ^3He ”が ^4He に取って代わられると、それが消失してしまうのです。

われわれは、以上の結果に勇気付けられて、この強磁性相を見てやろうとしています。現在、Cuの1段核断熱消磁法を用いる装置が、約120 μK まで下がりますので、昨年からの強磁性相の探索をやっています。これは未だ成功しておりませんが、もう少し粘ってみるつもりです。

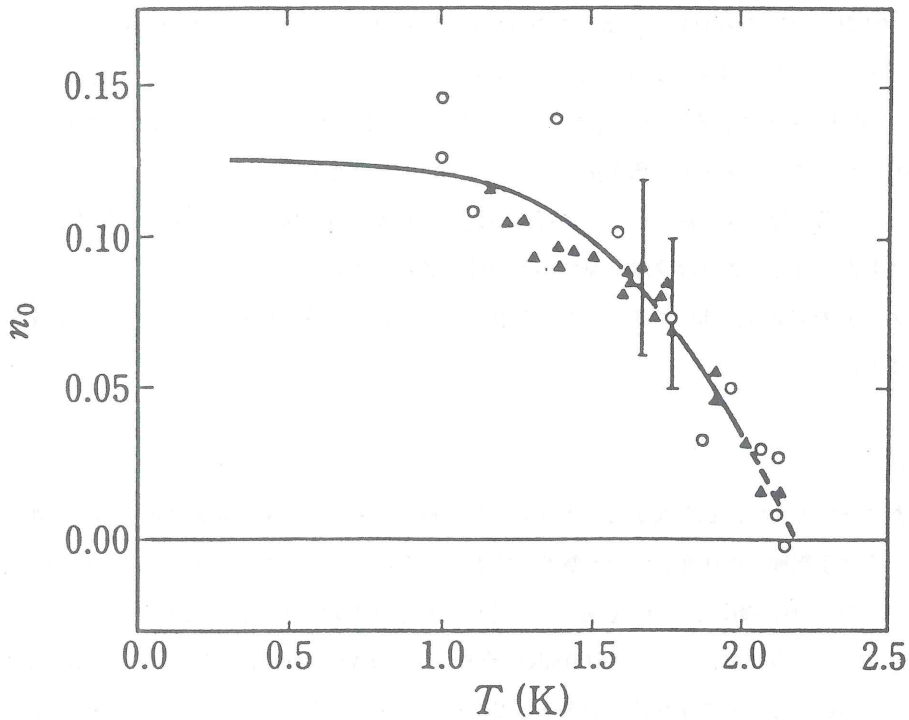
なお、以上の実験は助手の奥田雄一君、技官の金子和行君、院生の福島章雄君が進めており、また1985年には、文部省招へい外国人研究者として、米国Rutgers大学からProf. H. Kojimaが参加されました。

3. ヘリウムの表面²⁾

ヘリウムのような量子性の大きな液体の表面がどうなっているのかという問題は、あまり良く分かっていませんでした。大体、液体表面のことは、ヘリウムに限らず、それほど理解が行き届いている事柄ではないように見えます。

表面について何が分かれば良しとするかは議論の有るところでしょう。少なくともヘリウムでは、その表面での密度のprofileさえほとんど分かっていませんし、いろいろと明らかにしなければならぬ事が多いのですが、われわれは先ず、表面張力の測定からスタートすることにしました。それは、表面でどのような励起が存在するのかを知るのに、表面張力が最も適していると考えたからです。ただし、これまでは表面張力は良くご存じの毛細管上昇法で測定されて来ました。この方法は、実験家から見ると、10-20 μm といった狭いところの試料が(超流動状態は別として)はたして十分に一樣な温度なのか、毛細管現象で上昇する高さとも毛細管の外部にある液面との差を測定する精度があまり出ないのではないか、あるいは、超流動ヘリウムが容器の内壁に膜を作るので、測定しているのは本当にbulkな液体の表面張力なのかどうか、などと云ったことが大いに気になったのです。そこで、現在は日本医科大学に移った飯野正昭君が、毛細管上昇法ではなしに表面波の速度を測ろうと提案しました。その具体的な測定法は、要するに円筒状の容器に液体ヘリウムを入れ、そこでの表面波の共鳴周波数を高精度で決定すると云うやり方です。現在の測定器のレベルからすると、これで毛細管上昇法に比べて絶対精度と相対精度(感度)とがいずれも約2桁向上すると期待されました。

このやり方で、実際の測定もきわめて上手く行きました。期待通り、表面張力が絶対精度 0.5 m dyn/cm で求まり、また $10 \mu \text{ dyn/cm}$ あるいはそれ以下の表面張力の変化がはっきりと見えるようになったのです。その結果、液体 ^4He の表面張力は、先ず ripplon の励起で理解出来る $T^{7/3}$ の温度依存性がほぼ 1 K まで成り立ち、さらに高温では Bose-Einstein 凝縮体 (BEC) の波動関数が液体表面で空間的变化をするためのエネルギー、つまり BEC の表面エネルギーと呼べるものが重要になることが分かりました。この後者を簡単な理論で取扱うと BEC の fraction, n_0 , が求められ、その温度依存性がこれ迄中性子や X 線から得られていた結果と良く一致します。この理論的取扱いにはいろいろと問題があると思いますが、それでも第 2 図を見ると、表面張力の実験も満更ではないように思えます。



第 2 図 ^4He の表面張力から求めた BEC fraction, n_0 , の温度依存性。○と▲とはそれぞれ中性子散乱と X 線散乱とから求められた値を示す。

一方、液体 ^3He のほうでは、0.3Kから約1Kまでの表面張力の温度依存性は $T^{2.00 \pm 0.05}$ できれいに表されます。この結果は、 ^3He 準粒子が表面にやって来てこれを叩き、或るエネルギーを表面エネルギーとして与える効果に加えて、今迄 ^3He ではなおざりにされていた ripplon の効果が重要であると理解しています。つまり、ここで、 ^3He 表面にも ripplon が存在することを主張しています。ただし、この温度依存性を表す数字が余りにきれいな値なので、われわれは今なお、何か別の解釈があるかもしれない、むしろそれを歓迎するという気持ちでいます。この辺りは、理論家のご意見を伺いたいところです。

目下の問題は、 ^3He の表面張力をさらに低温度で測定してみると、約200mK 辺りから温度の低下とともに表面張力が上記の T^2 依存性から大きく下に外れて、温度に鈍感な振る舞いを示すことです。液体 ^3He の粘性が大きくなって ripplon が damp-out してしまうために、その $T^{7/3}$ の項が効かなくなることは十分に考えられますが、測定された T^2 からのずれは、それよりも遙かに大きなものです。もともと、超低温で ^3He の表面張力を測ってやろうというのは、一つには ^3He が超流動状態になって表面張力がどうなるのか、 ^4He のように n_0 に相当するものが出て来るのではないかと、あるいはその n_0 はどういう意味を持つかが分かるのを期待してのことなのですが、そこへ行く前に、この表面張力の異常が見つかって、いまその解釈を迫られているというわけです。

以上に加えて、我々は気相・液相転移点の近傍および、ラムダ点近傍での表面張力の振る舞いを詳細に測定しました。詳しいことは文献を見ていただければ幸いです。

なお、この一連の実験は、前にご紹介した飯野君と院生の鈴木 勝君を奥田君と金子君が支える形で進んできました。

4. さらに

以上述べたことに加えて、私が前から、もうずい分と長いことやって来た超音波の実験が現在も続いています。今は宇部興産の研究所にいる藤井一宏君が、 $^3\text{He}-^4\text{He}$ 混合系での $^3\text{He}-^3\text{He}$ の衝突による緩和ピークを、 ^3He 濃度と圧力とを変えて丹念に系統的に測定してくれました。³⁾ このピークは ^3He 濃度と圧力とに依りますが、20~200mK に現れます。実験の目的は、 $^3\text{He}-^3\text{He}$ の相互作用ポテンシャルをいろいろな圧力で運動量の関数として決めようと云うものです。その結果、ポテンシャルが決まり、 $^3\text{He}-^4\text{He}$ 混合系でこれまでに測定されていた幾つかの物理量が、そこからかなり上手く計算できるようになりました。また、大きな不確定さを承知で云えば、このポテンシャルから $^3\text{He}-^3\text{He}$ が対を作って超流動状態をとる転移温度が推定できます。この最後に云ったことは、物性研を初めとして世界の幾つかのグループが、この新しい量子凝縮相の探索に情熱を傾けている問題です。

もう一つは、純粋 ^4He でも1K付近に見られる緩和ピークを $^3\text{He}-^4\text{He}$ 混合系で調べています。これは、藤井君が始めて、現在、本郷の物理学教室の岩佐 泉さんが本格的な測定をしています。⁴⁾ この

ピークは幾つかの phonon と roton とがやや複雑に関係しているものですが、現在の測定結果を見ると、phonon・ ^3He 準粒子間相互作用が主に事柄を決めているように思われます。

もう紙面に余裕が無くなりましたので、最後に visitor をご紹介します。一人は中国の物理研究所（北京）からの Deng Tingzhang（鄧廷璋）氏です。彼はいま焼結 Ag にヘリウムが入った系での音波の吸収と速度とを調べています。⁵⁾ 今年の3月末まで物性研に滞在の予定ですので、研究の結果が大いに楽しみです。Visitor と云えば、この原稿が印刷になる頃には、以前 Grenoble にある I. L. L. の所長で、これも長いこと phonon physics の分野で活躍されている Prof. J. Joffrin が私のグループに来ておられることでしょう。約2ヶ月の短い滞在ですが、彼といろいろな議論が出来ることをとても楽しみにしています。

おわりに

以上、私の研究室でここ数年間にわたってやって来たこと、および、現在も続いていることを紹介させていただきました。それにつけても、常日頃、物性研内外の多くの方々から頂くいろいろな意味でのご援助や励ましに、ここで改めて感謝しなければなりません。本当に心から御礼を申し上げます。

今後このグループや上に申した研究がどうなっていくのか分からないところも有りますが、ヘリウムの物性の研究と、さらには低温物理の今後の発展を祈って止みません。（1987年1月末記す）

1) Y. Okuda, A. J. Ikushima & H. Kojima: Phys. Rev. Lett.

54, 130 (1985)

Y. Okuda & A. J. Ikushima: Phys. Rev. B33, 3560 (1986) 他。

2) M. Iino, M. Suzuki, A. J. Ikushima & Y. Okuda: J. Low Temp. Phys.

59, 291 (1985)

M. Iino, M. Suzuki & Akira J. Ikushima: J. Low Temp. Phys.

61, 155 (1985)

M. Suzuki, M. Iino & A. J. Ikushima: J. Low Temp. Phys.

63, 129 (1986)

M. Iino, M. Suzuki & A. J. Ikushima: J. Low Temp. Phys.

63, 495 (1986)

A. J. Ikushima, M. Iino & M. Suzuki: Invited talk presented at Int'l Conf. on "Quantum Liquids and Solids" (Banff, 1986); to appear in Canadian J. Phys. 他。

3) I. Fujii, A. J. Ikushima, M. Fukuhara, K. Kaneko, & M. Suzuki:

- J. Low Temp. Phys. 63, 495 (1986) 他。
- 4) I. Iwasa & A. J. Ikushima: Jpn. J. Appl. Phys. 26, Suppl. 26-1 (1987),
to appear.
- 5) Deng Tingzhang, I. Iwasa & A. J. Ikushima: Jpn. J. Appl. Phys. 26,
Suppl. 26-1 (1987), to appear.

共通測定系 磁気測定室

古賀 珪一, 小黒 勇

通称「磁気測定室」の紹介をします(技術開発部共通測定系磁気測定室というのが正しい名称だったような気がするが、誰も使っていない)。当室は一応「磁気測定」を担当する事になっており、雇員の古賀と小黒が、東方朔と西王母よろしく、東西の両端に分かれた地下の一隅で各々を分担しています。一応という意味は以下で理解して頂く事にし、室の成立上、別々の研究室等に属していた装置を寄せ集めた形なので、各々が分担している室を分けて紹介します。

I はじめに

005室の磁気測定室は、昭和58年、停年退官された阿部、近角両研究室の装置の一部を集め発足した。それら装置は一時代をそれぞれ輝やかしく飾ったものばかりである。その性能は保持しておかなければならない、がそれらはもともと、誰にでも使えるように作っておらず、どちらかと云えば、研究者の個性をタップリ採入れて開発されていて、その上10年以上を経ていることから、常に手を加えていなければ、たちまち時代遅れの装置になりかねない。

II ではその装置について

磁気振子 製作者の松井さん(現名大)の報告(固体物理 9, 1974 201)によれば、温度42Kから1300K、磁場1.1Tで強磁性体から常磁性体まで広範囲の測定ができる装置と報告されている。がプラチネル熱電対に問題が有り現在は、AuFe-Cuに交換したため、室温から液体ヘリウム温度での測定用になっている。そして、磁気測定室発足直後、安岡担当所員、と同研究室の西原さんの尽力により、パソコンの導入と、ソフトの開発が行なわれ、以来、全く休みなく、所内外、次から次と忙がしく稼動している。ソフトはBASICで書れた対話形なので誰でも動かせるし、測定は無人運転で出来ます。しかしながら、時々Back Groundの値が途中で大きくずれたりして、一度の測定では済まなくなるケースがあったので、今はサンプルを預かり、結果を渡すようにして、装置の性能と稼動率を落さないよう、又壊れたら莫大な修理費が掛るので、それはたまらないので止むなくとっている方法です。

帯磁率の絶対値は、平川さん(現福岡工大)より提供して頂いた KMnF_3 により校正しています。

将来計画としては、バカチョンカメラのように、測定者はサンプルを入れるだけのSQUIDを利用した磁化率測定装置を入れ、磁気振子は高温専用としたいが、物質開発室のスタートが絡んでいるので、まだまだ先になりそうです。

電子スピン共鳴装置 四つある共通測定系の室で唯一引越しをした大型装置である。その時、一番

気になったのは通称3トン電磁石のレール幅だったが、奇しくも(至極当然ともいえるが)同じであったので、全く工事費無しの移動となった。セメント数袋購入し、レール両側の大きな溝の埋め込み、ヘリウム減圧配管、電磁石と電磁石電源の冷却水配管工事と、部屋の配置を考慮しながら一人で行ない、凡そ10週を要してしまっただけで、装置の動くのを待つ、近松さん(当時平川研究室大学院学生)と、施設利用に来ていた鈴木さん(当時お茶の水大)が測定を始めたのは7月末、旧近角研究室の残余物品を搬出しながらだったが、Xバンドの装置を動かすのに4箇月を要してしまっただけで、その後、K、Qバンドの装置の整備は、59年4月までかかった。然し周波数安定化装置が無く、長い間要求を続けた結果、61年ようやく購入できた。

こちらの方の将来計画としては、今ある装置が必ずしも使い勝手が良いとは云えないので、サンプルをセットし、起動スイッチを押せば必要なデータが得られる形のものを入れる計画はあるが、共通室の最大の弱点、利用者の少なさを楯に計画倒れになるかもしれません、どうなりますか。

その他 半期に一度程、白鳥さん(阪大)が施設利用に来て使われていた、ビッター型電磁石は、種々の事情により廃棄と決まり、その後、生みの親の元へと引き取られたのは60年8月でした。

Ⅲ 所外から利用の幾つか

1. お茶の水大 鈴木正継さん(現ニューヨーク州立大) $MnCl_2-GIC$ (グラファイト層間化合物) がもつ二次元磁性体としての性格を電子スピン共鳴により解明しようと実験を行なった。吸収線幅の温度変化は約30K以上では温度に依らず、約10K以下では発散的に増大する結果を得た。又結晶のC軸と、加えた静磁場の角 θ との角度変化は $(3\cos^2\theta - 1)^2$ に比例し二次元系の特徴を示した結果を得た。
2. 岡山理大 大谷槻男さん 反強磁性に近い金属的化合物、あるいは弱い遍歴電子反強磁性体と期待される $Tl_xV_5S_8$, $Tl_xV_6S_8$, $V_{3+x}Tl_4$ 等の帯磁率を測定した。
3. 信州大 永井寛之さん 希土類と遷移金属化合物の電子状態を解明するため、ナイトシフトや緩和時間の測定を安岡研究室で行なってきて、データ解析のために帯磁率の値が必要となり測定してきた。しかし、材料の純度に問題があったりしたが、間もなく解決する。
4. その他 他の研究室に持ち込まれた試料を、005室で測定する場合があります。
 - a) 本郷、田中研究室の high T_c super conductor. この時は、液体ヘリウム温度ですと大きな反磁性が観測され、丁度強磁性を測るのと同じ位感度を落さなければならなかった。
 - b) 茨城大 石田さんと中田先生で作られた $RbAg_4I_5$ は、さすが結晶づくりの専門家のサンプルで、最高感度で測定したが全然磁性不純物は観測されなかった。
 - c) 本郷、医学部からは体内に埋込むステンレス製の手術のピンの磁化の有無についてを測定した。

Ⅳ 所内の利用者で割合多く利用した人には直接書いて戴きました。

1. 石川研究室 石川さん $CeCu_xSi_{2-x}$ (ThSi₂ タイプ), Ce_2CuSi_3 , $CeCuSi$ (AlB₂ タイプ), $CeCuSi_2$ (CeNiSi₂ タイプ) などの三元系化合物では、その磁氣的性質が銅の組成に大きく依存することが帯磁率の測定から見出された。例えば、 $CeCu_xSi_{2-x}$ のキュリー温度は $dT_c/dx \sim 68K/x$ の割合で直線的に急上昇する。これらの化合物の有効磁化と常磁性のキュリー温度を求めめるため 4 ~ 300K での帯磁率測定を行なった。
2. 石川研究室 高島さん a) 超伝導 Pd-Se 化合物。Pd を高濃度に含ませたにも拘らず、超伝導を示す Pd_9Se_2 , Pd_7Se_2 , $Pd_{34}Se_{11}$ は、帯磁率の測定結果により、強いスピンのゆらぎが抑え込まれていることが判明した。b) 近藤格子系化合物 $CeCu_{1.54}Si_{1.46}$ と $CeCuSi_2$ の二つの化合物は $CeNiSi_2$ 型の結晶構造を持つ近藤格子系化合物であるが、前者は 7K で、後者は 15K でそれぞれ反強磁性転移を起こすことが見出された。
3. 安岡研究室 西原さん 専ら装置の改良やソフトの開発で協力しながら、次のような実験もしています。

a) $CuCl_2-GIC$ は図 1 のようにどのステージも ① 75K にピークを持ち、もとの $CuCl_2$ に似た温度変化をする部分 (よい低次元磁性体と考えられる) ② 低温で急激に増大するキュリー部分 ($CuCl_2$ の島状クラスターの周囲の部分の Cu スピンの寄与と初めて解釈) ③ ステージ数に依存したグラフィイト層からの寄与 (軌道帯磁率が負であることが判明) の 3 つの和として議論した。(小黒らとの共同実験)

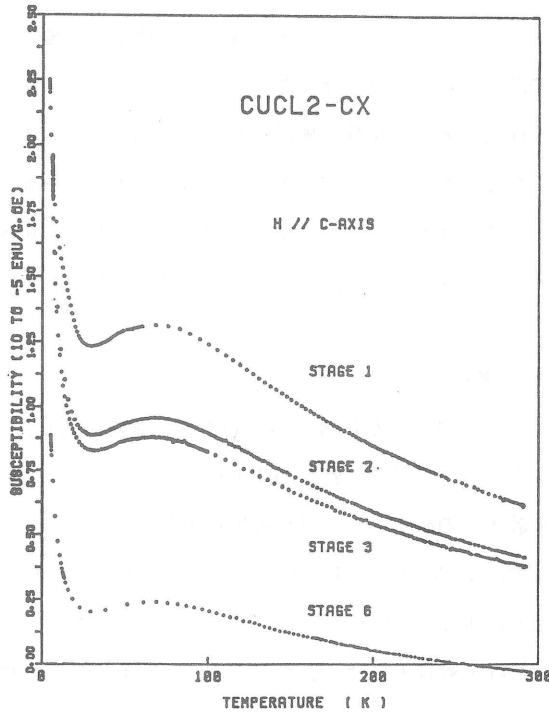


図 1

- b) 層状化合物 $1T-TaS_2$ に含まれる微量のHを除いた試料で低温での帯磁率の異常を見出した。
(岡山理大 林 宏哉さんと共同実験)
- c) 稀薄磁性半導体 $(Cd_{1-x}Mn_x)_3As_2$ の帯磁率を測定し、Mn スピン間の交換相互作用の大きさを評価した。
4. 安岡研究室 清水さん a) 価数揺動金属間化合物の帯磁率の測定はNMRの結果を解析し、磁性のミクロな情報を得るために必要である。これまでに、価数揺動のエネルギーの大きさを知ることが出来、また新しい機構による異方的な交換相互作用の実在性を示喚することができた。b) $Al-Mn$ (サンプルは竹内研究室木村さんより) を基調とした準結晶相が、構成要素の組成比の変化に関して、結晶相には見られない異常な磁気的性質を示すことを見出している。
5. その他 a) 安岡研究室 高梨さん (現東北大) 人工格子のメタル層と混合層についての状態を、ミリ波を用いた強磁性共鳴で分離した形で解明出来ないものかと試みたが、未だ今の所明確な結果がでていない。b) 中性子部門 佐藤さん (現分子研) 一次元的伝導体 $(TaSe_4)_2I$ の260KにおけるCDW転移に伴った帯磁率の異常を見出し、ESRについても測定をした。

V おわりに

脚光をあびる、超やら極のつくものは何もなく、かといふ簡便平易なものもない。そんな訳で装置の感度向上のチェックがてら今、層状珪酸塩化合物を測っています。名前は立派ですが俗に云う粘土です。けれどもその単結晶は大変きれいで、インターカレートした試料は、金属イオンの色がきれいに出て、まさにエキゾチック、エキゾチックと云えば研究所正門が極彩色の竜宮城のようだったのを知っている人も何時の間にか随分少なくなった。今は居なくなった人を含めて、大勢の人に迷惑をかけてきた、液化室、工作室、そして事務、施設。私も長い間色々な人の測定の手助けをし、自分では緑の下を支えているのだと、そう、この建物が出来て以来、ずうっと地下の住人で過ごしてきたことになる。5時を過ぎ、丁度辺りも暗くなって来たので、ちょっと東宮御所をひと回り、これじゃ何だかたぬきかもぐら、そう云えばこの辺り、遂この前までは狸穴とか竜土町の地名で呼ばれていた。

② 031室 (超伝導磁石室)

当室には10テスラと15テスラの超伝導磁石と若干の計測器があり、その中心は15テスラ用超伝導磁石です。田辺先生らによって設置されたのは1975年で、当時は国内では唯一の強磁場用超伝導磁石であり、それ以来数多くの研究グループが毎年利用しています。しかし当時最強の磁場を誇ったこの超伝導磁石も現在では10位以下に落ちており、装置自体の老朽化の印象も否めません。磁場強度だけで言えば、東北大金研に30テスラを誇るハイブリッドマグネットが誕生したし、16.5テスラ級の超伝導磁石は大学だけでも日本には4台あります。しかも何れも物性研のマグネット内径35φ

よりも30～50%も広いので差は歴然です。物性研のこのマグネットは Nb_3Sn のテープをパンケーキ状に巻いたものを積み重ねた型（IGC社製）ですが、資料によると、同社の同型のマグネットは国内だけでも4台、世界では20台以上保有されているそうです。かつて近角先生は「物性研にある電磁石群をみて外国人はマグネットーラボだ、と感心する」という主旨の話がされていますが、世界に誇る超強磁場があるとは言え、隔世の感があります。残念ながらこのマグネットも昨年クエンチ事故を起こしてから15テスラを発生できなくなり、残留磁場が大きい事も相俟って魅力をやや落しています。このマグネットは約35ℓの液体ヘリウムの中に浸りますが、クエンチによって数10秒で全部気化してしまい、その噴出する様子は噴水と形容しようと白い龍と表現しようと仲々壮観です。しかし多くの場合それを観る実験者の目には驚きをゴマかす苦笑いと絶望に似た虚ろな影が浮んでいるのが印象的でした。彼らはその瞬間、実験が全て無に帰すのですから。

当室には、発足時の考えにより、マグネットの周辺装置を除いて物性用の計測装置はありません。計測器持ち込みによる利用が原則なのです。と書くと実は書きすぎて、6年前筑波大の小松原教授が自作された引抜き式磁化測定装置、及び定電流源とディジボルがあるので電気抵抗の測定等はできます。しかし通常の研究室にみられる専用の計測システムがないのは事実で、今後共通測定室を活用していく場合、その特色を活かす為にはこの方面の充実が第一と考えます。

全国に同レベル以上のマグネットが散在しているにも拘らず、物性研のマグネットは物性研究者に大きな寄与をしてきたと考えています。研究テーマ等に大きな制限をつける事なく、全国の施設利用者に積極的に公開し続けて来たのは、当り前の事のように、評価されてしかるべきです。物性研より良いマグネットを持っている大学の研究者も大いに利用している事からも明らかです（この点について批判的な意見もありますが）。ただ残念な点は、利用日数が施設利用経費で制限されるので、実験に必要な充分な時間を提供できない事です。その分、利用者側の準備の良さや手際の良悪が歴然と現れて来るので、利用者にはそちらの方の努力を願う次第です。

とりとめもなく書き綴ってしまいましたが、より良い利用者の多数の出現を願って止みません。最後に衣の下から鎧をチラリ。研究所が有機的な活動をするにはセクションを問わずアクティブである事、即ち“やる気”が要求されます。立派な研究者がいる程、下積み人間も多勢おり、彼等の役目もより重要になります。個人的には良い人柄の研究者達も、組織として動くとは何か権力的になり勝ちです。私達は草履を編んでも駕籠をかついでもかまいませんが、しかるべき処遇はしてもらいたいと思います。マネジメントも立派な研究者の資質の1つだと信じます。

物性研究所短期研究会報告

「ナノ変調構造磁性体の物理的諸問題」

世話人代表 東北大金研 藤 森 啓 安
" 京大化研 新 庄 輝 也

上記の研究会が昨年12月8日より10日まで3日間、下記のプログラムの通り物性研において行われた。この研究会は、昭和62年4月仙台において行われる磁性材料の物理的諸問題に関する国際シンポジウムの準備のために企画されたものと、人工格子の物性に関する研究会の2つの提案を合体させたものでありプログラムの前半は薄膜、微粒子、超急冷合金などの磁性、後半は人工格子に関する発表が中心となった。発表件数は36件で、3日間にわたったが各発表に30分ずつを割り当てたので討論はかなり充実したものとなった。

微粒子や薄膜の研究においても物質構造の制御の度合いをマイクロ化しようという努力が始められている。今の所ナノメートルの単位にはいたっていないケースが多いものの今後次第に精密度が高められるであろう。試料生成手段としてはイオンインプランテーションやクラスターイオンビーム蒸着などが目新しく液体急冷法やスパッター法の利用も盛んである。

一方基礎的な磁性の測定手段には特に注目される新しい進展は見られていない。ここで発表される物質は磁気的に複雑な系であり、その解明がまだ十分行われていないのは研究会の発表である以上当然である。今後中性子回折、NMR、メスバウアーなどを多角的に又密度を高く適用することによって今後の成果が期待される課題が多い。

人工格子について見ると、国内でも多くのグループが試料生成を行っており物質系もすでに多岐にわたっている。特に光磁気特性を意識した3d-稀土類多層膜の研究が盛んである。構造評価については放射光の利用の有効性が紹介された。超伝導人工格子については、臨界磁場について実験と理論が比較されている。最後に今後の研究についていくつかの提案が出されいろいろなコメントがあった。本研究会は一般に対する宣伝が不十分であったにもかかわらずかなり多数の出席者があって一時は満席の状態となった。この研究会の主題が広い層の関心を集めていることが示された。

以下は各自より提出してもらった発表の要約である。

最後になりましたが、この研究会の企画にご協力いただいた企画提案者の方々並びに座長の労をとっていただいた方々に感謝申し上げます。

プログラム

日 時 昭和61年12月8日(月)～10日(水)

場 所 東京大学物性研究所 旧棟1階講義室

12月8日(月)

10:50～11:00 開会

11:00～12:30 座長 藤 森 啓 安

薄膜・微粒子・表面・液体急冷

- (1) イオンインプラントーション膜の表面構造と磁性 権藤靖夫, 末澤慶孝 (横浜国大工)
- (2) クラスタ-イオンビーム法による磁性薄膜と特性 松原覚衛, 小柳 剛 (山口大工)
- (3) クラスタ-イオンビーム法によるアモルファス鉄薄膜の作製と磁性
甲斐鎌三, 呉国 偉, 鈴木謙爾 (東北大金研)

12:30～13:30 昼食

13:30～15:30 座長 安 達 健 五

- (4) 気相急冷 Fe 基非平衡合金の構造と磁性
隅山兼治, 潟岡教行, 川合康博, 中村陽二 (京大工)
- (5) Fe-Ni 合金薄膜の BCC/FCC 構造と磁性 上田勇治 (室蘭工大), 高橋 実 (東北工大)
- (6) 二元 (Fe-Al, Fe-Cr) 同時斜蒸着薄膜の構造と磁性
慶徳 進 (広島女子大), 後藤道太, 神森達雄 (愛媛大理)
- (7) (Fe, Co)-(Pr-Nd) アモルファス膜の構造と磁性 宮崎照宣 (東北大工)

15:30～15:40 休憩

15:40～17:40 座長 対 馬 国 郎 (NHK)

- (8) $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-CaO-B}_2\text{O}_3$ 系アモルファス酸化物磁性体
太田恵造, 永田勇二郎, 伊能敬雄 (青学大理工)
- (9) アモルファス NiFe_2O_4 膜の特性 平塚信之, 杉本光男 (埼玉大工)
- (10) 反応性 ICB による Bi-Zn-Fe-O 薄膜の作製とその磁气的性質
松本 明, 貞村英昭 (新技術事業団), 鈴木謙爾 (東北大金研)
- (11) 反応性スパッタによって作製される透明な強磁性と強誘電性が共存する酸化物薄膜
藤井壽崇, 秦泉寺 哲, 廣島康一 (豊橋技大), 加島 篤 (北九州工専)

12月9日(火)

9:00~10:30 座長 宮島英紀

- (12) 回転真空蒸着法による磁性微粒子の作製と磁性

能勢 宏 (岐阜大工), 中谷 功 (金材技研)

- (13) 磁性流体の作製法と種類

中塚勝人 (東北大工)

- (14) 希土類系急冷薄帯の非平衡状態と磁気異方性 高橋 研, 斉藤 順, 脇山徳雄 (東北大工)

10:30~10:45 休憩

10:45~12:15 座長 権藤靖夫

- (15) CoO/NiO酸化物人工格子の作製, 構造, 磁性

坂尚周, 高野幹夫, 寺嶋孝仁 (京大化研), 池田宏信 (お茶の水女子大理)

- (16) 準結晶の磁氣的・電氣的性質

深道和明 (東北大金研), 後藤恒昭 (東大物性研), 増本 健 (東北大金研)

- (17) マイカにインターカレートした磁性イオン

高橋 実 (東北工大), 大塚邦夫 (三菱セメント研)

12:15~13:15 昼食

13:15~14:45 座長 遠藤康夫

人工格子・多層膜

- (18) 金属人工格子の研究の動向

新庄輝也 (京大化研)

- (19) MBEによる人工格子

寺内 暉 (関西学院大理)

- (20) 放射光による人工格子の構造解析

藤井保彦 (阪大基礎工), 中山則昭 (京大化研)

14:45~15:00 休憩

15:00~17:00 座長 安岡弘志

- (21) Fe-Y人工格子膜の層厚による構造と磁性の変化

森下忠隆 (NHK放送技研)

- (22) Fe/Gy系人工格子の磁性

細糸信好 (京大化研)

- (23) Fe/Gd多層膜の磁性

梅村鎮男 (新技術開発事業団), 古谷野 有, 喜多英治, 田崎 明 (筑波大物理)

- (24) Fe/Tb系の垂直磁気異方性

佐藤 昇 (ソニー中研)

12月10日(水)

9:00~10:30 座長 寺倉清之

- (25) Co/Cr, Co/Ag, Mn/Ge系の磁性

石尾俊二 (東北大工), 高橋 実 (東北工大)

- (26) Co/Gu系人工格子の構造評価とNMR

鈴木義茂, 腰塚直己 (電総研), 高梨弘毅 (東北大金研), 安岡弘志 (東大物性研)

27) Co/Mn 人工格子膜の磁性

榎間 博 (松下電器中研), R. Krishnan, M. Tessier (ONRS Meudon-Bellevue)

10:30 ~ 10:45 休憩

10:45 ~ 12:15 座長 三 浦 登

28) 超急冷 Gu-Fe 合金のクラスタリング効果と磁性

松井正顕, 内山 剛 (名大工), 安達健五 (名大理)

29) TbCo スパッタ膜及び Co-CoO 積薄膜の微細構造と磁性

楠田哲三 (広島大工)

30) FeNi / FeMn 多層膜の非対称磁化ループ

藤森啓安, 林 新 (東北大金研)

12:15 ~ 13:15 昼食

13:15 ~ 14:45 座長 立 木 昌

31) V/Ag 系の超伝導

鹿野田一司, 間崎啓匡, 細糸信好, 新庄輝也 (京大化研)

32) V/Ag 超伝導人工格子のNMR

今井 卓, 安岡弘志, 滝川 仁 (東大物性研), 新庄輝也, 細糸信好 (京大化研)

33) 人工格子超伝導の理論

立木 昌, 高橋三郎 (東北大金研)

14:45 ~ 15:00 休憩

15:00 ~ 16:30 座長 新 庄 輝 也

34) 超伝導近接効果について

福山秀敏 (東大物性研)

35) 人工格子と価数変動

糟谷忠雄 (東北大理)

36) 人工格子における電子と磁場

伊達宗行 (阪大理)

16:30 ~ 16:40 閉会

イオンインプラネーション膜の表面構造と磁性

横浜国大工 権藤 靖夫, 末澤 慶孝

イオンインプラネーションは, 固体表層に任意の元素を正確に添加し, 通常では存在しない非平衡相を実現する有効な方法である。我々はこれまでに適当なエネルギーをもつ希土類イオンをFe, Ni等の鉄族膜に高濃度注入するとき, 一般にアモルファスの希土類-鉄族合金が形成され, 又注入時に静磁界を印加すれば磁界の印加方向を容易軸とする一軸磁気異方性が誘導されることを報告した。高濃度イオン注入による非平衡相の形成過程は殆んど未解明であり, 既に報告した希土類-鉄族アモルファス合金の形成と対比するため, 今回は化学的に不活性でFeと固溶しないArイオンの注入効果を調べた。イオンインプラネーションは, スパッタや蒸着等の他の方法に比べて遙かに速い冷却効果を与えるので, Ar注入の実験に興味がある。その結果, アモルファス相は実現されないが, 特異

な非平衡相が実現されることが分った。電顕観察の結果によれば、10at%以下の注入領域では希土類イオン注入、アルゴンイオン注入ともFe膜はbcc構造のままであるが、希土類の場合はその格子定数が増大し、アルゴンの場合は逆に減少する。アルゴン注入の場合、注入されたアルゴン原子は直径 $20\sim 30\text{\AA}$ の微細なバブルの集団を形成し、Fe格子中に規則的に配列する構造をとる。この微細なアルゴンバブルは約500個のアルゴン原子からなり、室温において3000気圧程度の圧力でFe格子中に閉じこめられているため、注入領域のFe格子は1.5%程度圧縮されていると考えられる。更にアルゴン注入によりFeの磁気モーメントの僅かな減少がみられるが、これはアルゴンバブルの形成により鉄・アルゴンの界面がFe膜中に新たに大量に生じたためとも考えられる。

クラスターイオンビーム法による磁性薄膜と磁性

山口大・工 松原 覚衛, 小柳 剛

ナノ変調構造磁性体の基礎研究として、クラスターイオンビーム(Ionized-Cluster Beam)法による半磁性半導体として知られている $\text{Co}_{1-x}\text{MnxTe}$ ($0 < x < 0.8$)多層構造薄膜成長とその磁気光学効果について調べた。

ICB法は、蒸着物質の蒸気を断熱膨張により超急冷させてルーズに結合した原子集団(クラスター)を生成させ、これに電子のシャワーを浴びせてイオン化し、加速電圧を制御して薄膜成長を行う手法である。この手法は、クラスターイオンのもつ電荷の効果を運動エネルギーを制御することによって低温度成長、結晶性の制御が可能であり、クラスターが基板に射突するさいのマイグレーション効果(横方向への原子の拡散効果)のために、表面平坦度の高い極薄膜(100\AA 以下)成長ができるなどの特色がある。

この特色を活かして、サファイヤー(0001)基板上に、 $\text{Cd}_{1-x}\text{MnxTe}$ 多層構造膜のエピタキシャル成長を行った。オージェ電子分光測定およびX線回折測定から、作製した多層構造膜は良好に周期構造をもつことがわかった。また、ファラデー回転角の分光測定から、(1)多層構造膜(周期 120\AA)は単層膜での回転角 $2\theta_F \approx 1.2$ (deg/cmG)の約2倍程度大きくなる、(2)井戸層の幅が 40\AA より薄くなると回転角は膜厚に逆比例して指数関数的に急増する、(3)波長分散が起こる位置は高エネルギー側にシフトする、などのユニークな磁気光学特性を示すことがわかった。この結果は、伝導電子の井戸層への閉じ込めによる量子効果で説明できた。

クラスターイオンビーム法によるアモルファス鉄薄膜の作製と磁性

東北大学金研 甲斐 鎌三, 呉国 偉
鈴木 謙爾

イオン・クラスタービーム法(ICB)は $10^{-2}\sim 1$ Torrの内圧にまで高められたルツボから、ノズ

ルを(1mm ϕ)を通して数100~2000個の原子からなるクラスターを噴出せしめ、イオン化、加速した後基板に成膜する技術である。この方法によって130K程度に冷却された基板に堆積された純鉄膜は容易にアモルファス膜となる。その形成条件は主として基板温度、堆積レートおよび加速電圧によって決まり、堆積レートはあまり高すぎると結晶化しやすく、加速電圧もその傾向にある。ノズル直径を大きく広げると(5mm ϕ)アモルファス膜ができにくい。これらのことから液体状クラスター粒子の過冷度、急冷凍結効果が原子状蒸気蒸着に比べて大きいこと、アモルファス膜の形成が容易であると予想される。EPMA、ガス分析結果によると、Ta~600, W~300 および Mo, Zr < 100ppm などがガンの構成元素からくるものと、酸素が1~5at%含まれている。特に酸素がアモルファス鉄膜の形成に対して影響していることも考えられる。

ICB法によって作製されたアモルファス鉄膜の熱的安定性は、従来の蒸着法によって作製された膜に比べて格段に高く、結晶化温度は900Kによぶ。

磁気測定の結果はキュリー温度650K, 4.2Kより外挿された飽和磁化は $190 \pm 20 \text{ emu/g}$, μ_{Fe} は $2.0 \mu_{\text{B}}$ に近い値を与えた。室温における保磁力は10~20Qe程度であるので典型的な強磁性体であることがわかった。

ICBによって作製されたアモルファス鉄膜はもとより純鉄といえない noninal amovphous iron であるが、従来の研究では低温度での結晶化のため知られていなかったキュリー点^が, 650Kと比較的高いこと、従来その磁気モーメントについて $2.2 \mu_{\text{B}}$ と $1.2 \mu_{\text{B}}$ 程度と2説あったうちの高スピン状態をとることが判明した。

気相急冷 Fe 基非平衡合金の構造と磁性

京大工 隅山 兼治, 瀧岡 教行
川分 康博, 中村 陽二

気相急冷法の一つであるスパッタリング法を用いると、様々な非平衡合金が作製できる。それらを平衡状態図と比較すると、一次固溶体拡張型、非晶質形成型、金属間化合物形成型、不規則合金形成型等に分類される。例えば室温の平衡状態で互いに非固溶の Fe-Cu, 高温の液体状態でも非混合の Fe-Ag 二元合金, 更に Fe-Cu-Ag 三元合金を気相急冷法で作製すると, Fe 高濃度領域で bcc 単相, Cu, Ag 高濃度領域で fcc 単相, 三元非平衡状態図の中央組成付近で非晶質相が各々形成された。Fe が希薄な濃度域を除き何れの合金も低温で強磁性体となる。Fe 濃度を一定にして, Cu に対する Ag の組成比を増加させること, 格子定数, 並びに Fe 原子の磁気モーメント μ_{Fe} , 内部磁場が増加する。 μ_{Fe} の増加は Fe 原子体積の増加に関係していると推察される。

Fe-Ni 合金薄膜の BCC/FCC 構造と磁性

室蘭工業大学 上田 勇治

Fe-Ni 合金の α - γ 相境界組成附近 (*Iu var* 組成) においては物理的異常現象が見られることは良く知られている。ここで、この合金の Ni 側からの即ち γ 相領域の報告は比較的多く存在するが、Fe rich 側の α 相側からの報告は殆んど見当たらない。我々は銅の単結晶基板を用い、電着法によりこの組成領域の合金薄膜を作製し、この組成附近の α 相の物性を γ 相との比較において検討した。作製された膜の結晶構造は反射法電子線回折により行ない、磁性は飽和磁化および torque 回線の測定により行なった。薄膜法では、 α 相が Nu 側の 45% Ni 組成付近まで拡張していること、また、この組成領域でその飽和磁化が Ni 組成の増加と共に急激に低下しないということ、さらに torque 回線の測定から、 α 相の物性は歪を受けても磁気異方性には大きな影響を与えるが、飽和磁化そのものには大きな変化を与えるものではないということが明らかとなった。

二元 (Fe-Al, Fe-Cr) 同時斜蒸着法膜の構造と磁性

広島女子大 慶徳 進

愛媛大・理 後藤 道太, 神森 達雄

Fe と non-ferro 金属 M (Al, Cr) を、同時に、かつ同一入射面内で対称的に斜蒸着した薄膜 $Fe_x M_{1-x}$ について、主に磁氣的測定に基づき、膜形成 シュミレーション・電顕観察などの結果も併せ、膜の構造を検討した。

測定は磁気モーメントおよび磁気異方性について行なった。磁気モーメントの結果は、入射角が小さい場合 x を少なくしてゆくとモーメントの減少をもたらす Fe と M が固溶してくることを示すが、入射角が大きくなる場合はモーメントの減少が抑制され Fe と M が分離することを示す。この結果は Fe-Cu の場合¹⁾ と同じであり合金系が固溶・非固溶であることには殆んど関係しない。異方性は膜面内と入射面内の二つについて測定し立体的な解析を行なった。その結果入射角が大きいと、膜面内では入射面に垂直方向に容易軸、入射面内では膜面から立上った方向に容易軸を作るようになり、両者の H_K は数 KOe のものとなる。これらの異方性は分離した Fe が板状であることを示唆し膜厚と同程度に入射面に垂直方向に伸びた板と推定される。一方 adatom の集積に伴う結晶粒生成の シュミレーションによると、柱状構造を形成し、入射角が大きくなるに従って蒸発源に面した柱の側面にその蒸発源の金属原子が堆積して一の柱状粒内で Fe と M が分離することを示す。電顕による膜の断面観察は柱状構造の存在を支持している。

これらの結果から二元同時斜蒸着薄膜は柱状構造を形成 (板状柱)、各板状柱内で二元に分離しており、膜全体としてみると Fe と M (non ferro) の板状柱が交互に配列した縦型層状構造を作っていると結論される。

1) S. Keitoku et al, Jpn. J. Appl. Phys. 25 (1986) 1668

Fe-(Pr, Nd, Sm)アモルファス合金の磁性

東北大工 宮崎 照宣, 林 和孝, 大龍 達郎
島盛 巧美, 高橋 研

アモルファス合金の構造と磁性のかかわりを理解するため, 液体急冷法並びに真空蒸着法により作製した $Fe_{100-x}R_x$ ($R=Pr, Nd, Sm, 0 \leq x \leq 60$) アモルファス二元合金を作製し, 磁化, キュリー温度, 磁気異方性及び抗磁力を 77~400K の温度範囲でしらべた。

磁化の R 濃度依存性からいずれの方法で作製したアモルファス合金も Fe と R の磁気モーメントはスフェリ構造をとると考えられる。しかも Fe-Pr, Fe-Nd 合金系と Fe-Sm 系を比較した場合, Sm の磁気モーメントは Pr, Nd のそれよりもよりスフェロ的であると予想される。また Tc は $Fe_{17}R_2$ 化合物に相当する R 濃度では, いずれの方法で作製した合金の Tc も $Fe_{17}R_2$ 金属間化合物のそれとほぼ一致した。しかしながら R 濃度の増加に伴って次第に $Tc(\text{金属間化合物}) > Tc(\text{アモルファスリボン}) > Tc(\text{アモルファス蒸着膜})$ となった。これは試料の作製方法により, Fe と R の原子間距離が異なるためと考えられる。

また蒸着膜の垂直磁気異方性並びに抗磁力は R が 30~60at% で極大を示す共通した組成依存性を示した。これはこの極大を示す前後の濃度で非晶質構造が異なるためと考えられる。

$Fe_2O_3-CaO-Ba_2O_3$ 系アモルファス酸化物磁性体

青山学院大理工 伊能 敬雄, 永田勇二郎, 太田 恵造

強磁性の非晶質酸化物を作る試みは多くなされているが, 得られた大部分のものは非磁性体であるか, 磁性体との混合組織であった。しかし最近この目的に達したと思われる幾つかの報告が見られるようになった。私たちは標記の三元系を取り上げ, ロール超急冷法によって非晶質を作製してみたところ, 強磁性を示すものを得ることが出来た。

Fe_2O_3 を 40~70mol% の範囲で変えてみると約 55% 以上では X 線回折で結晶の図形が現われるが, それ以下では現われず, これを非晶質の状態とした。最も大きい飽和磁化は, $(Fe_2O_3)_{0.55}-(CaO)_{0.15}-(Ba_2O_3)_{0.3}$ の成分で 19.7emu/g であった。これを一旦結晶温度以上に加熱すると, 冷却しても磁性は失われてしまう。

メスバウア図形は 2 本の吸収線のパラ磁性的である。磁界を与えるか冷却すると強磁性的な図形に変わる。磁化曲線と併せて超パラ磁性あるいはスペロ磁性と考えられるが, まだ確定する根拠が十分でないので結論に至っていない。

アモルファス NiFe_2O_4 膜の特性

埼玉大・工 平塚 信之, 杉本 光男

アモルファスフェライト薄膜は近赤外領域で光透過性が優れ、かつ粒界や欠陥がなく均一であるため、光磁気記録媒体として応用される可能性がある。光磁気記録媒体としては垂直磁気異方性を有することが必要であるので、今回は垂直磁化膜の生成条件を検討した。すなわち、垂直磁気異方性定数の P_2O_5 含有量依存性、熱処理温度依存性および基板温度依存性について調べた。

NiFe_2 合金と P_2O_5 を出発物質とする 2 源真空蒸着法で作製した膜は、その P_2O_5 含有量が 14% 以上でアモルファス相になるとともに、18~22wt% の限られた組成領域で垂直磁化膜が得られた。また、この作製条件で基板温度を 573K にして作製した膜は $K_u = 8 \times 10^4 \text{ erg/cm}^3$ と増大した。この垂直磁気異方性発生の原因は、柱状構造による形状異方性に起因することが SEM 組織観察、および X 線回折により確認された。

反応性 ICB 法による Bi-Zn-Fe-O 系薄膜の作製とその磁氣的性質

新技術開発事業団 松本 明*, 貞村 英昭**
東北大金研 鈴木 謙爾

結晶状態では反強磁性体である BiFeO_3 (ペロブスカイト型構造, $T_N = 645\text{K}$) と ZnFe_2O_4 (正スピネル型構造, $T_N = 9.5\text{K}$) を混合熔融し、これを超急冷することによって得られる Bi-Zn-Fe-O 系非晶質薄帯が強い磁性を示すことが、以前太田らによって見出された。この系で最高の磁化を示す組成は Bi_2O_3 30mol%, ZnO 20mol%, Fe_2O_3 50mol% であり、室温での磁化は 17emu/g、キュリー温度 450K であった。この組成をもつ薄膜を、微視的な液体急冷法とみなすことができるクラスターイオンビーム蒸着法によって作製した。その結果、成膜条件を適当に選ぶことによって、室温での磁化 20emu/g、キュリー温度 580K およびファラデー回転角 $5 \times 10^3 \text{ deg/cm}$ (光の波長 632.8 nm) の値をもつ透光性強磁性的薄膜を作製することができた。さらに、種々の検討の結果、磁性の起源は非晶質相もしくは準安定結晶相にあると考えられる。

* 現日本光学工業(株); ** 現戸田工業(株)

反応スパッタによって作製される透明な 強磁性と強誘電性が共存する酸化物薄膜

豊橋技術科学大 藤井 壽崇, 秦泉寺 哲, 広島 康一
北九州工高専 加島 篤

われわれは以前に、アルゴンと酸素雰囲気中で高周波反応スパッタで作製される酸化物薄膜が、透明

で室温で磁気ヒステリシスと誘電ヒステリシス曲線を示す強磁性と強誘電性が共存することを見出した。強誘電性の発生が $\text{FeBO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ($n=1, 2, \dots$)ゼオライト研結晶のような分子多孔質を形成し、水化物が関係していることを明らかにした。この薄膜の強誘電特性は周囲湿度に鋭敏に反応して変化する興味ある現象を示し、高応答、可逆的であるため湿度センサーとして応用できる可能性がある。

今回は、同様の特性の導膜がBi-Pb-Ti(Zr)-Fe系酸化物でも生じることを述べる。スパッタ・ターゲットとしては Bi_2O_3 , Fe_2O_3 , PbTi(Zr)O_3 の混合粒末を用い、アルゴン対酸素圧比4:1で全圧力40mTorrの下で高周波電力350~400Wでスパッタして作製した。膜厚は1.5~2 μm 、コハク色を呈した透明な試料が得られる。吸収端波長は440~480nmで、Fe濃度の増大と共に低エネルギー側に単調にシフトする。特に近赤外域で高透過性を示し、99%以上に達する。

基板温度380~400°Cで作製したas-preparedの状態ではガラスまたは準結晶状態にあると思われる。これらの試料も室温で磁気ヒステリシスと誘電ヒステリシスを示す。磁化は膜面内にあり、室温で最大 $4\pi M=650\text{G}$ という大きな値のものが得られた。永久電気分極は $P_s=0.01\mu\text{e}/\text{cm}^2$ 程度であった。また磁気光フアラデー回角 $\theta_F=6\sim 2\times 10^4\text{deg}/\text{cm}$ ($\lambda=633\text{nm}$)とかなり大きな値をもつことが分った。元来、われわれはペロブスカイト多結晶酸化物薄膜の作製を意図していたが、結晶膜においてはこのような興味ある物性は認められず、むしろガラス状態に近いもので実現できることが分った。室温で強磁性と強誘電性が共存する材料は、これまで全く知られておらず、構造が不完全なスパッタ薄膜試料で何故そのような秩序をもつのか物性的にも興味ある話題を提供する。またME(EM)-効果のような磁気モーメントと電気モーメント間に相関する相互作用があるかどうかは大きな関心事である。

我々は今後、強磁性や強誘電性の発生機構、磁気光学効果、電気光学効果、及びME-効果を測定すると共に、新しい型の光電子機能素子媒体への応用の可能性についても調べてゆく予定である。

回転真空蒸着法による磁性微粒子の作製と磁性

金材技研 中谷 功, 古林 孝夫
岐阜大・工 能勢 宏

界面活性剤を添加した炭化水素油を入れた真空槽を回転させながら、油面上に真空蒸着を行い、Fe, Co, Niの微粒子を作製した。これらは分散性微粒子コロイドをなし、粒子サイズは良くそろって20Åであることが、電子顕微鏡観察から判った。

X線回折からは、バルクと同様にFeはbcc, Coはfcc+hcp, Niはfccの結晶構造を示した。静的磁化測定では、4.2Kより170Kまでは強磁性であるが、それ以上室温までは超常磁性であり、Langvin関数によくのる。

3cmマイクロ波では、室温でも超常磁性にならずに、強磁性共鳴が観測できる。Niでは9.4GHz

にて、共鳴磁場 2.9K0e, 共鳴巾 1.2K0e の測定結果から, $g=2.29$ となって, バルクの Ni と同様である。これを希釈して, 1cc 当りの数密度を 2×10^{18} から 3×10^{14} まで薄めたが, 共鳴巾は少し狭くなる他は, ほとんど変化が見られない。このことは粒子間の相互作用が無く孤立した粒子の集まりであることを示している。

磁性流体の作製法と種類

東北大・工 中塚 勝人

要旨

磁性流体は, 強磁性物質の超微粒子に表面処理を施して溶媒中に分散させた極めて安定なコロイド溶液で, あたかも均質な強い磁性をもった液体として磁界に感応する。強磁性超微粒子としては通常フェライトが用いられているが, 近時は鉄, コバルト, ニッケルなどの金属を用いたものも作られるようになってきている。

磁性流体を作製するためには, 基本的に次の3つの条件が重要と考えられている。

- (i) 超微粒子を被覆する界面活性剤の官能基は粒子表面に不可逆的な吸着性を持ち, “尾”の部分(炭化水素)が必要な長さで分散溶媒に対する“なじみ”をもつこと。
- (ii) 表面処理された粒子が最近接したときの粒子間の磁気相互作用のエネルギーがブラウン運動のそれを超えない程度に磁気モーメントが小さいこと。例えばマグネタイトでは直径約 100 \AA がその限界サイズである。
- (iii) 粒子にはたらく重力, 磁気力などが拡散力と釣り合う程度に粒子は小さくしなければならない。粒子サイズを制限するもうひとつの要因である。

現在は粉碎, 水溶液からの沈殿反応によって酸化物系の磁性流体が作られている。分散質のサイズ, 吸着被覆層の厚さ等の実験による見積りによって(i)~(iii)の要請が妥当であることが裏づけられつつある。また, このモデルによれば, 鉄, コバルトを分散させると 1300 ガウス ($4\pi I$) 程度の磁性流体が作製できそうである。

希土類系急冷薄帯の非平衡状態と磁気異方性

高橋, 斉藤, 脇山

$\text{Sm}_2(\text{Co}_{1-x}\text{Mnx})_{17}$, $\text{SmCo}_{5-x}\text{B}_x$ 及び $\text{Sm}(\text{Co}_{1-x}\text{Fex})_4\text{B}$ 系合金薄帯を, 液体急冷法により作製し, 作製時のロール周速を変化させることにより得られる非平衡状態と磁気異方性との関係を検討した。

その結果,

- 1) $\text{Sm}_2(\text{Co}_{1-x}\text{Mnx})_{17}$ ($0 \leq x \leq 0.25$) 薄帯の場合, Sm^{3+} イオンの配置がランダムとなった TbCu_7

型不規則構造が急冷処理により実現できる。TbCu₇型不規則構造での磁気異方性を1イオンモデルを用いて計算した結果、その値は、この化合物の平衡状態でのTh₂Zn₁₇型の場合より約1.4～1.5倍程度大きくなることがわかった。主な理由としては、第一隣接位置を占めるSm³⁺イオンの数が増えることによる。

- 2) SmCo_{5-x}B_x (0.6 ≤ x ≤ 1.0), 及び Sm(Co_{1-x}Fe_x)₄B (0 ≤ x ≤ 0.5) 薄帯の場合、平衡状態として得られるCeCo₄B型長周期構造が乱れたCaCu₅型不規則構造が単相として得られる。B原子によるCo原子の置換は、この化合物の軸比(c/a)の変化を介して結晶場に変化をもたらす、その結果として結晶磁気異方性が増大する。そのため、この合金薄帯のiH_cは18KOe以上と非常に大きな値となることがわかった。

Ni/CoO酸化物人工格子の作製、構造、磁性

京大化研 坂事 尚周, 寺嶋 孝仁, 高野 幹夫
お茶の水女子大理 池田 宏信

気相成長によって原子層単位で結晶を成長させながら、2種の物質を交互に積層して人工的に新しい結晶を作る手段は新材料開発の手法としても注目されている。組み合わせる結晶の格子常数が異なると歪超格子が生成することが知られているが、この歪が磁性にどのように影響するか、また層のどの位の範囲まで磁気的な相互作用が及ぶかなど人工格子には興味ある問題が多い。このような問題を基礎的に検討するには単結晶膜にする必要があり、まずCoO/NiO人工格子の単結晶膜の合成について検討した。

CoO/NiOはNaCl構造で、CoOの格子常数がやや大きく、格子のミスフィットは1.7%である。互いにエピタキシャル成長するので、基板結晶を選ぶことによって人工格子単結晶が得られる。成長方法は反応蒸着によるが、1Å/s程度にゆっくり成長させることによって結晶性がよくなる。基板を岩塩に(001)にすると250°CでCoO/NiOが(001)面でエピタキシャル成長した人工格子単結晶が生成する。

一方、サファイヤC面を基板とすると(111)面でエピタキシャル成長した人工格子単結晶が生成し、基板温度200°Cで、単層まで制御した人工格子が得られる。サファイヤ基板に成長した単結晶はNaCl基板の膜より結晶性がよくなる。これは層状成長しながら結晶が成長するので、結晶性もよく、また層の制御も容易になったものと思われる。

CoOとNiOはMnO型のスピン構造をもつ反強磁性体で、ネール点はそれぞれ291, 520Kである。反強磁性領域ではCoOは正方晶、NiOはスピン軸のある(111)面で格子が伸びた菱面体型に変化する。サファイヤC面に成長した(CoO)_m(NiO)_n (m, nは層数)のX線回折によって(111), (222)のピークのまわりにサテライトピークが観察されるが、これはほとんど原子面間距離の相

違から生じている。この(111)面間距離はバルクと比較してCoOは大きく、NiOは小さくなっている。即ちNiOは(111)面内で伸び、CoOは[111]方向に伸びている。

(CoO)_m(NiO)_n人工格子の磁性を中性子回折によって検討した。3000Åの(111)面NiO単結晶の($\frac{1}{2} \frac{1}{2} \frac{1}{2}$)の磁気散乱ピークは非常に弱いが、500Åの膜厚の(CoO)_m(NiO)_n (m, n ≤ 7)人工格子では強くなる。これは人工格子では成長面に平行にほとんどのスピンの軸が向いているためと考えられ、主として人工格子のNiO格子が(111)方向に伸びたためにこの方向にスピンの軸が安定化したことによると思われる。m, n ≤ 7の人工格子の組成によるネール点の変化は固溶体と同じである。即ち、m, n ≤ 7の層では互いに隣接した固溶体と同じ程度に磁気的な相互作用があることになる。今後、m, nの組合せを更に広げて検討し、酸化物人工格子の磁性を明らかにする予定である。

準結晶の磁氣的・電氣的性質

東北大金研 深道 和明, 増本 健
東大物性研 後藤 恒昭

Al-Mn系合金において5回対称を有する準結晶の存在が報告されてから2年余りが経過した¹⁾。その間、構造を中心として活発に研究されてきたが、ほかの物性についてはあまり議論されていない。結晶学的にはアモルファス相と結晶相の中間に位置する準結晶がどのような磁氣的・電氣的性質を示すか注目される。

本研究では上記3相におけるそれらの性質を比較検討した。液体急冷法で作製されたAl-Mn合金試料においては純粋に単一相が得られにくいため、議論に厳密さを欠くことは否めないが、次のように要約される。

- A) 準結晶相とアモルファス相は同程度の大きさの有効磁気モーメントを有し、結晶相の値はその約半分である。後者の値の大きさはPauling Valence²⁾と対応付けられ、原子間距離と配位数に依存して変化する。
- B) スパッタ法で得られた試料を熱処理することにより3相(準結晶の場合は純粋に単一相でない)の密度を比較することができ、アモルファス相、準結晶相、結晶相の順にその値は大きくなる。上述のように、磁氣的性質はPauling Valenceに依存するので、詳しい構造解析が待たれる。
- C) 準結晶相においてMnの一部をCrで置換しても著しい磁性の変化は見られない。Al中のCrは磁気モーメントを持たないので、この結果はAl-Mn系準結晶において、Mnの占める位置は1種類だけではないことを示唆している。
- D) Al-Mn系では準結晶相、アモルファス相の双方ともMn濃度と共に電気抵抗率は増大し、低温では負の温度係数を示すようになる。なお、磁気モーメントを持たないAl-Cr系準結晶の値はそ

れ程高くない。したがって、準結晶の電気抵抗率は並進対称性が失われ平均自由行程が短いこと、フェルミ面近傍で共鳴散乱が生じること、さらに磁気モーメントを有する合金で磁気散乱が生じることの3つの寄与を考えれば定性的に説明される。

E) 結晶相の電気抵抗率は上記2相の値と比較すると半分程度であり、しかも温度依存性には遷移金属を含む合金系に特有の飽和現象³⁾が見られる。

文 献

- 1) D. Shechtman, I. Blech, D. Gratias and J. W. Cahn, Phys. Rev. Lett., 53(1984)1951
- 2) N. Mōri and T. Mitsui, J. Phys. Soc. Japan, 25(1968)82
- 3) P. B. Allen, Superconductivity in d- and f-Band Metals, eds. H. Suhl and M. B. Maple (Academic Press, New York) p. 291

マイカインタカレーション層間化合物の磁性

—M-MIC化合物, M=Mn, Fe, Co, Ni—

東北工大 高橋 実
 東北大・工 石尾 俊二, 大貫 悟(学生)
 三菱鉱業セメント 大塚 邦夫, 須田 充, 尾野 幹也

人工マイカ(直径 $\approx 5\mu\text{m}$, 厚さ約 100\AA)にMn, Fe, Co, Niを種々の濃度にインタカレートしたMIC化合物(C面内に磁性イオンが二次元に配位)のC面およびC軸方向の磁化, 磁気異方性, $f = 110\text{Hz}$, $\tilde{h} = 3.40e$ の交流帯磁率を4.2Kから室温までの温度範囲で測定し以下の結果を得た。

表 1

Layered Compound	Mag. Moment	Easy Axis	Q_p (K)	$x^{A,C}$ peak (K)
	Ion (μ_B)			
Mn	4.9 (4.9)	none (C-plane)	-24 (-28)	below 4.2 (12)
Fe	4.3 (4.1)	C-plane (")	-33 (30)	10 (34)
Co	4.3 (4.3)	C-plane (")	10 (20)	8 (12.3)
Ni	2.5 (2.3)	C-axis (")	15 (35)	5, 12.5 (30)

()はM-(OH)₂でM:Mn, Fe, Co, Ni

実験結果で注目すべきことは(i)Ni-GICの磁化容易軸がC面内にあるのに対してNi-MICのそれはC軸方向である。(ii)Ni-GICの磁化は階段状に変化するがNi-MICでは単調に増加した。(iii)(Fe, Co)-MICでは $x^{A,C}$ の温度変化に一つのピークが観測され, Ni-MICではNiの濃度を増加させるとスピンの逐次相転移に対応する $x^{A,C}$ のピークが5K, 8~12.5K, 17Kに観測された。

$x^{A,C}$ の異常温度変化は二次元層間化合物のクラスターの成長過程の各段階における磁性イオンの状態, クラスター間の相互作用の変化によって定性的に説明される。なお現在これら二次元磁性体の異方性をも含めた詳細な磁気構造を検討している。

金属人工格子の研究の動向

京大化研 新庄 輝也

人工格子を利用することによって単原子層の磁性体の研究を行うことができる。単原子層を単層しか含まない試料と比べると, 数百層を含む人工格子ではすべての物性測定が容易になる上, 周期性を利用した中性子回折が可能であり, 構造評価も多層の方が容易である。非磁性層でサンドイッチした磁性層をモノレイヤーにまで薄くでき, かつ強磁性を保持している系として Mg でサンドイッチした Fe, および Sb でサンドイッチした MnSb が見出された。これらはいずれも磁性層が 2 層以下の時のみ垂直異方性が優勢になり, 見かけの T_c が数 10K である。外国で行われた Co 薄膜の結果などを総合すると, 界面一原子層には垂直異方性が存在し, 非常に薄い場合にのみ顕在化する現象がかなり一般的に見られることがわかった。

MBE による人工格子 (金属)

関西学院大理 寺内 暉

分子線エピタキシー (MBE) によって, 非平衡状態ではあるが, 新しい人工の結晶を育成しようとする試みは, 化合物半導体特に III-V 化合物において成功しており, 単原子層の制御にもとづく結晶育成が行われている。一方, 金属の人工格子, 特に金属超格子はその相互拡散などのために, 半導体に比べて, その結晶育成は困難である。我々は種々の基板結晶のいくつかの格子面に, Nb, Ta, Mn, Al などの単結晶, および超格子をエピタキシャル成長させる基板温度などの条件を定めつつある。サファイア基板結晶の代表的な 4 つの面では, Nb, Ta およびその超格子の成長面が異なっており, テラス的な成長をする場合がある。Al-Mn 超格子をアニールすると準結晶が成長する場合がある, などのことが分ってきた。

放射光による人工格子の構造解析

阪大基礎工 藤井 保彦

京大化研 中山 則昭

シンクロトロン放射 X 線 (SRX) の特性 (①高輝度, ②波長同調性, ③偏向性, ④パルス性) を用いた (金属) 人工格子の研究は, 未だ十指に満たないが, それらは主に①②を利用したものである。波長を構成元素の吸収端に同調して異常散乱を誘起し, 隣接する元素間の散乱因子のコントラストを

増大させて、Fe-Mn人工格子の界面構造を解いた実験や、異常散乱と磁気X線散乱の干渉項目を利用して、Gd-Y人工格子のGdの磁気モーメントの層内分布を求めた実験等がある。また、完全に近い周期構造を持つW-Si人工格子中に生ずるX線定在波を利用してスパッタリング法で導入された、不純物Ar⁺が、Si層中に選択的に高密度にトラップされていることも判明した。一方、人工格子はSRX用モノクロメーター等の光学素子としても有望視されている。高い反射率と長い格子定数を任意に作製できることを利用したwide-band-passモノクロメーター(W-C等)や、逆に、核励起を利用した超高エネルギー分解能SRXを通常のトムリン散乱と分離するためのFe-⁵⁷Fe人工格子モノクロメーター等が考案されている。また、人工格子(Ni-Mo等)で期待される弾性異常を直接測定するための、SRX線回折用高圧セルも開発されつつある。このように、SRXは人工格子の結晶・磁気構造研究のための有力な手段を提供するとともに、人工格子はSRX用光学素子として開発されることも期待されている。

「Fe-Y人工格子膜の層厚による構造と磁性の変化」

NHK放送技研 森下 忠隆

人工格子膜は極めて薄い層の物性でも、それらを積層することにより、巨視的な観測を可能にしてくれる。

Feは単体では非晶質化しにくいとされている。そこで、元来非晶質合金化しやすいY層の間にはさんで、Fe-Yの組成変調を作り、Feの層厚をパラメーターとして、Y層間に純Fe層を出現させ、そのときの磁性と構造を調べた。

Fe層の厚み d_{Fe} を増加してゆくと $d_{Fe}^{\circ} \sim 25 \text{ \AA}$ で磁化は急激に増加してbccバルクの値を示す。 $d_{Fe} \sim d_{Fe}^{\circ}$ の状態の結晶構造をX線回折、DSC、TEM、で調べた結果、この領域では非晶質Feが形成されていると結論された。

Fe/D_F系人工格子の磁性

京大化研 細糸 信好

Fe/D_Y人工格子の構成元素であるFeは強磁性を示し、D_Yは179~85Kでらせん磁性、85K以下で強磁性を示す。このため人工格子全体としての磁性に興味を持たれる。Feメスバウアー効果からFe原子の磁気モーメントについての知見を得た。さらに中性子回折と通常の磁化測定を組合せてFe層、D_Y層の磁化やその結合についての知見を得た。測定結果はFe層とD_Y層が独立に磁性に寄与するのではなく、両層間に磁氣的結合が存在することを示している。

Fe/Gd 多層膜の磁性

富士写真フィルム 梅村 鎮男

筑波大学理工学系 古谷野 有, 喜多 英治, 田崎 明

超高真空下で作製された人工格子合金を用いて主に界面や薄膜効果など物理的視点に立った研究が広く行なわれている。一方、人工格子合金を新素材としてとらえ工業的応用の可能性を考えると超高真空下での生産は大きなデメリットとなる。そこで、我々は人工格子合金の磁性材料としての可能性を探るために 10^{-6} Torr 台の真空度の下で鉄と希土類の多層膜を常温の基板上に作製し、その磁気的性質を研究してきた。本研究会では希土類として Gd を選んだ、Fe/Gd 多層膜について発表した。

各層の厚さがおよそ $10 \text{ \AA} < (\text{Fe 層の厚さ}) < 50 \text{ \AA}$ かつ、 $3 \text{ \AA} < (\text{Gd 層の厚さ}) < 40 \text{ \AA}$ の範囲の試料は垂直磁気異方性を示す。この範囲よりも Fe 層の膜厚を薄くすると室温で Fe の超常磁性が現われる。

低温での磁化測定の結果から Gd 原子は酸化して常磁性になっていること、また、超高真空下で作製した膜と異なり、Fe との磁気的相互作用を失っていることがわかった。Gd 層は磁気的相互作用ではなく、Fe 層の構造に影響を与えることで膜の磁性に関与すると考えられる。

低温の Fe メスbauer分光で α -Fe を越える内部磁場が認められた。内部磁場の温度変格と膜の自発磁化の温度変化が対応することから、4.2 K での磁化は α -Fe の値を越えないと予想される。

Tb/Fe 系多層膜の垂直磁気異方性

ソニー中研 佐藤 昇

RE-TM 磁性薄膜における垂直磁気異方性のオリジンを、積層構造をもつ Tb/Fe 系薄膜を用いて調べた。

Tb/Fe 多層膜は、二元 DC マグネトロンスパッター装置で作製された。多層膜構造の存在は、Tb, Fe の単原子層以上で構成された Tb/Fe 膜において、小角 X 線回折で確認された。3 原子層以下の Tb, Fe で構成された Tb/Fe 膜は非晶質である。しかし、3 原子層以上の Tb, Fe で構成された Tb/Fe 膜は、 35° 又は 50° 近辺でブロードなピークを示し、すでに結晶粒が生成しはじめているものと考えられる。更に、十分に厚い Tb, Fe 層で構成された Tb/Fe 膜では、格子像が電子顕微鏡で観察され、HCP-Tb, BCC-Fe の Texture 構造を形成している。Tb/Fe 多層膜では、 300°C の熱処理後においても多層構造が保持され、又 500°C 以下の熱処理では非晶質相が保持された。

Tb/Fe 多層膜の磁気特性は、Tb 組成への依存と同様に、膜構造—Tb 層の厚さ—にも大きく依存している。種々組成の Tb/Fe 多層膜において、Tb 単原子層で形成された膜が最も優れた磁気特性—大きな磁化、大きな垂直磁気異方性—を示した。

Tb/Fe 多層膜磁気特性の Tb 組成依存性は、多くの研究者から報告されているものと同様である。

しかし、同一組成で比較した場合、Tb/Fe多層膜の磁気特性は、彼等の結果よりも優れている。

Tb/Fe多層膜の構造、磁気特性から、RE, TM原子分布の異方性がRE-TM磁化膜の異方性に大きく関与していると考えられる。

Co/Cr, Co/Ag, Mn/Ge 系多層膜の磁性

東北工大 高橋 実

東北大工 石尾 俊二, 能登原康裕(現九州松下)

二元蒸発源を用い、 10^{-5} torrの真空中で基板硝子を回転させ乍ら、Co/Cr系(固溶合金系)、Co/Ag系(完全非固溶系)、Mn/Ge系(化合物系)の多層膜(CoおよびMnの厚さdを $3\text{ \AA} \sim 100\text{ \AA}$ に系統的に変化させた)を作製し、飽和磁化(M_s)のCoおよびMn層の厚み依存性並びに磁気トルク回転速度損失を測定した。膜の作製にあたっては一方の金属膜上への他金属蒸気の拡散を防ぐことに特別の考慮をはらった。実験の結果 M_s は約 80 \AA から減少し始め、

- (i) 固溶系合金Co/Cr系の場合、Co/Cr=4/1では d_{Co} 約 10 \AA で固溶体の M_s と一致し、Co/Cr=1/1では磁化が消失した。これらの結果は層界面に厚さ $15\sim 25\text{ \AA}$ の合金層が形成されることによるものとして説明された。
- (ii) 完全非固溶系Co/Agの場合、 $d_{Co} = 10\text{ \AA}$ 以下で微粒子化(直径 $15\sim 36\text{ \AA}$)が起り、 M_s が上昇して極大をとり、約 3 \AA で磁化が消失した。なお回転速度曲線等を解析した結果Co表面に厚さ約 5 \AA のdead layerが形成されていることが判った。
- (iii) M_s の温度依存性は膜厚の減少とともに $T^{3/2}$ 則から T' 則となり、 10 \AA 以下の膜でスーパーパラ的な温度変化を示した。

合金層の形成、膜形成初期の微粒子層の発達を考慮すると理想的な人工格子膜を作製するには結晶のエピタキシャル成長をも含めた膜成長機構をより深く解明する必要がある。

Co/Cu人工格子の構造評価とNMR

電総研 鈴木 義茂, 腰塚 直己

東北大金研 高梨 弘毅

物性研 安岡 弘志

fcc-CoとCuは、格子整合がよく(不整合1.6%)、部分的にしか固溶しない(10 at% Cu in Co)。そこで、超高真空蒸着法によってCo/Cu単結晶人工格子の作製を試み、その構造評価とNMR測定を行った。

Si(111)ウエハ上にAg(111)をエピタキシャル成長し、その上に、Co/Cu人工格子を成長した。RHEEDによるその場観察により $50\text{ }^\circ\text{C}$ という比較的低温でもエピタキシャル成長することが分った。

又、粒成長の様子は観察されなかった。

プリセッションカメラ及びディフラクトメーターの垂直及び水平のスキャンから膜の構造を調べた。その結果、CoもCuもfcc構造で、F地のAgと同じ方位にエピタキシしていることが分った。しかしCo/Cuには、スタッキングホルトによる双晶欠陥が入っている。人工周期によるサテライトは、Co, Cuそれぞれ 8Å ずつ堆積した試料(Co/Cu $8\text{Å}/8\text{Å}$)にも観察された。

^{59}Co 核の零磁場スピネコーズスペクトルには、バルクとほぼ同じ内部磁場を示すピークと、20%程内部磁場の減少したピークが観測された。内部磁場の減少したピークは、CoPyを薄くする程大きくなり、界面に位置するCoからの信号と考えられた。

以上、Si単結晶上にAgをバッファーとしてCo/Cu人工格子をエピタキシすることにより、50℃という低温でも良質な膜が得られ、NMR測定によって界面付近に位置するCoの内部磁場が分離測定できた。

Co / Mn 人工格子膜の磁性

松下電器中研 榎間 博

R. Krishnan, M. Tessier (CNRS Menclon-Bellevue)

超高真空蒸着装置を用いてCo, Mnを交互に蒸着する事により1層の層厚が $7\sim 70\text{Å}$ のCo/Mn人工格子膜を作製した。すべての膜についてX線小角散乱ピークが観測され、Co層はd-Co(002)より、又Mn層は $\alpha\text{-Mn}(330)$ 構造より成ると仮定し、Extended Modelを用いたシミュレーションによりほぼ低角、高角の回折パターンが説明できる事がわかった。得られたCo/Mn人工格子膜の磁化のCo層厚依存性より、およそ界面の1.5原子層のCoが磁気モーメントを失っていると仮定するとその傾向がよく説明され、Co層の1層の層厚が約 6Å で室温の磁化が消失する事がわかった。Mnは約90Kのヌール点を有する為、低温ではCoの強磁性層とMnの反強磁性層の界面での相互作用によりこの人工格子膜は興味ある磁化の温度依存性を示す事が予想される。実際1層の層厚が 20Å 以下の膜ではある転移温度以下でその磁化が減少するといった特異な現象が観測された。又この転移温度は層厚に依存し、人工格子膜の層厚が薄くなる程この転移温度は高くなる事がわかった。又NMRの測定結果より、1層の層厚が極めて薄くなるとCo層とMn層の界面に未知の合金層らしきものが形成される事がわかっており、恐らく上記の転移温度はこの合金層の出現とそのネール温度と相関があるのではないかと思われる。

超急冷 Cu-Fe 合金のクラスタリング効果と磁性

名大工 内山 剛, 松井 正顕

名大理 安達 健五

液体急冷された $\text{Cu}_{100-x}\text{Fe}_x$ ($x=0.69\sim 7.96$) の磁化率とメスbauer効果の測定を行い, Fe のクラスタと磁性の関係を調べた。

磁性は低温ではスピングラスとなり, x の増加とともに, スピングラス凍結温度 (T_g) は上昇する。しかし, 高濃度側では, 従来の報告とは少し異っており, 冷却速度の違いによって, T_g が変化することを示唆している。また $x^{-1}(T)$ より求めた P_{eff} は x とともに上昇する。つぎに, 400°C で焼鈍を行うと焼鈍時間とともに, T_g は減少し, P_{eff} は上昇することが判明した。このよえな T_g の組成依存性と焼鈍時間依存性が, Fe のどのような種類のクラスタから生ずるのかを調べるためにメスbauer効果の測定を室温で行った。

従来の報告によれば, 小さい Fe のクラスタは四重極分裂 (e^2qQ) が大きく, $\gamma\text{-Fe}$ のような大きいクラスタでは e^2qQ はほとんど消失するので, 得られたスペクトルを各合金ごとに, 最大 5 種類のクラスタ (孤立 Fe 原子, 2 原子, 3 原子, 4 原子以上の多原子, $\gamma\text{-Fe}$) に分けて, 解析した。その結果, 2 原子 (dimer) と 3 原子 (trimer) のクラスタの数が増すと T_g が上昇し, $\gamma\text{-Fe}$ のクラスタの数が増すと T_g は下降することが判明した。このことから, Cu-Fe 合金のスピングラスの出現には dimer と trimer が重要な役割を担っていると考えられる。なお dimer と trimer の P_{eff} は, 磁気測定とメスbauerの結果から, $5.7 M_B$ と $6.4 M_B$ と見積られた。

TbCo スパッタ膜及び Co-CoO 積層膜の微細構造と磁性

広島大工 楠田 哲三, 本多 茂男, 大越 正敏

1. TbCo スパッタ膜について

GdCo スパッタ膜において基板バイアスを印加して成膜を行うと, -50V 附近の膜中酸素が急減し, 又 -100V 以上で基板に垂直なファイバー状構造を呈することが明らかになった。一方 TbCo 膜では -50V 附近でほぼ面内磁化膜となり X線小角散乱実験より約 40\AA 周期の巾の広いスペクトルが検出された。更に断面のレプリカ電顕写真より基板にほぼ平行な線が見出された。これは非常に興味のある事実である。プラズマ内の荷電粒子の運動についての考察を必要とする。負の基板電位下で Ar^+ が基板側にドリフトし, 一方基板附近の O^- が基板から遠ざかるようにドリフトするため乱流が発生し, その中をスパッター粒子が飛行するので散乱が大きくなり層状構造物が出来る可能性がある。Neel モデルは常磁性フィードバックモデルで物理現象を説明し得る。しかし層状構造物が面内磁化になるか垂直磁化になるかの条件を Neel モデルから直接に求めることは困難である。反強磁性結合の定数に角度依存性を持たせると説明は可能であるが Tb の角運動量を考慮する

必要がある。TbFe, TbCo, GdEe などのバイアス変調法による短周期構造物について研究を行っている。

2. Co-CoO 積層膜について

上記の事実を用いると反応性スパッタ法 ($Ar^+ + O^-$) に基板バイアス変調法を適用することが出来る。すなわち Co-CoO 積層膜を作製し、その磁気特性と周期との関係について研究を行っている。RBS法, 小角散乱法, 断面測定, オージェ法などにより研究を進めている。面内磁化となるか垂直磁化となるかが興味の中心である。

FeNi / FeMn 多層膜の非対称磁化ループ

東北大金研 藤森 啓安, 林 新

サンドイッチ膜, 多層膜, 人工格子膜を磁気応用の立場から考えると, 磁化過程の問題は重要である。

これまでに, $10^2 \sim 10^3 \text{ \AA}$ 厚の軟磁性膜を $10 \sim 10^2 \text{ \AA}$ 厚の非磁性層を界して多層化した膜では, 静磁的に上下で結合したネール磁壁によって低保磁力, 高透磁率を示すことが見出され, アモルファス合金に応用することによって, MH 高周波領域でフェライトを越す高透磁率特性が得られている。また, 最近になって単原子層に近い多層膜で垂直磁化膜が得られることが判り, 話題になっている。

本研究は, 上記 2 例とは別の重要性を持つ非対称磁化ループの問題を追求したものである。すなわち, 軟磁性体であるパーマロイ (FeNi 合金) を反強磁性 FeMn 合金とサンドイッチすると, 数 10 Oe の原点シフトした角型磁化ループが得られる。これは, Co-CoO 微粒子などで良く知られている交換磁気異方性に起因した非対称磁化ループと同様のものと考えられるが, シフト量が Co-CoO などと比較して 1000 分の 1 以下であること, ループ幅 (保磁力) も 1000 分の 1 以下である点できわめて異なっている。また, 非対称ループを常温で実現できる点でも特長があり, 応用上注目される。

我々は, 膜厚, FeMn 濃度, 磁場冷却開始温度とシフト量, 保磁力の関係を詳細に調べた。その結果, この現象は, パーマロイのネール磁壁が界面の FeMn 反強磁性相互作用の効果を受けてその磁壁ピンニング力が+, -の外部磁界に対して違った大きさを持つためであることが推定できた。このピンニング力を制御することによって, 保磁力とシフト量のある程度任意に変えることができることも分った。

ピンニング力のより詳細な機構, すなわち, 界面での原子配列構造と交換相互作用の様子については不明のことが多く, 今後の解明が必要である。

V/Ag 系 の 超 伝 導

京大化研 鹿野田一司, 間崎 啓匡, 細糸 信好, 新庄 輝也

2種類以上の物質から成る多層薄膜の超伝導は、基礎物性あるいは新物質の可能性という点で興味深い。我々はV/Ag人工格子を作製し、多層構造に由来する超伝導物性を明らかにすべく、第2臨界磁場 H_{c2} と磁場侵入度 λ を測定した。

$V(30 \text{ \AA})/Ag(15 \text{ \AA})$ から $V(100 \text{ \AA})/Ag(200 \text{ \AA})$ に至る短周期の試料においては、 $H_{c2\perp}$, $H_{c2\parallel}$ (磁場がそれぞれ層に垂直, 平行) の温度依存性が共に通常の3次元振舞を示す。しかし、より長周期の試料になると $H_{c2\parallel}(T)$ がある温度 T_A から低温側で急激に線形性からずれて増加する次元クロスオーバーを示す。すなわち、 T_A 以下における強磁場中のV/Ag人工格子は、層に強く局在した2次元超伝導状態になることを意味している。さらに、 T_A より高い T_B において $H_{c2\parallel}(T)$ に小さな“折れ曲がり”が新たに見出された。この温度で、 $H_{c2\parallel}$ におけるボルテックス格子間隔が多層周期の2倍となっていることが計算から示されるので、この $H_{c2\parallel}$ の異常は多層構造とボルテックス格子の整合性に関係すると考えられる。

λ は、人工格子の周期依存性と温度依存性の2つの観点から調べられた。周期の増大と共に λ はまず減少する。この領域での λ は、均質な超伝導体の汚れた極限の計算値によってよく再現される。ところが、周期がより長くなると、 λ は一転して増加し始める。これはAg層が厚くなることによってV層間の結合力が低下するため、と解釈される。以上の状況は λ の温度依存性 $\lambda(t)$ にも反映される。すなわち、短周期の超格子においては、 $\lambda(t)$ が単一超伝導体のそれに近い関数になるが、周期が厚くなる程、Ag層での近接効果を反映した独特の変化を示すようになる。

V/Ag 超伝導人工格子の NMR

物性研 今井 卓

V/Ag超伝導人工格子中のV原子核の縦緩和時間 T_1 を、磁場循環法NMRを用いて測定した。この方法により、零磁場又は低磁場におけるV層中のエネルギーギャップについての知見が得られる。零磁場中における測定によると、V層中の T_1 はBCS的な $T_1 \sim \exp[1.75 T_c/T]$ という挙動を示し、次元クロスオーバーを起す温度以下でも変化は見られない。即ち、コヒーレンス長がV層同士を隔てる距離より短くなっても、エネルギーギャップにはクロスオーバーに伴う変化は生じず、三次元的温度領域での値からの外挿と一致する。膜面に平行に弱磁場を印加した状態での T_1 の測定も開始された。Cryo+らの計算によってよく説明できる、バルクの汚れた第2種超伝導体とは、かなり T_1 の振舞いが異なることが示唆された。この点については、現在詳細な実験が進行中である。

人工格子超伝導体の理論

東北大金研 高橋 三郎, 立木 昌

V-Ag, Nb-Ti, Nb-Ta, V-Niなどの人工格子は新しい種類の超伝導物質である。このような人工格子超伝導体に対して、伝導電子間の引力相互作用、伝導電子の状態密度や拡散係数、さらにはスピン分極が矩形状に変化すると仮定し、近接効果モデルに基づいて人工格子超伝導体の臨界磁場をdirty limitで計算した。その結果、平行臨界磁場の温度変化に次元クロスオーバーや折れ曲がり、さらには平行と垂直臨界磁場の間に交差が現れることや、臨界磁場の膜厚依存性に鋭いピークが現れることなど上記の人工格子で見いだされている温度依存性や膜厚依存性を統一的に説明し得ることがわかった。特に、臨界磁場曲線の折れ曲がりから磁場-温度平面で新しい超伝導相図が期待されることを示した。

超伝導近接効果について

物性研 福山 秀敏

超伝導体(S)と界面を共有する金属(M)領域へは、Sのクーバー対の相関がしみ出す。これは近接効果(proximity effect)と呼ばれる。この効果自体は古くから良く知られ、SNS接合(Nは正常(ノーマル)金属の意味)などが研究されてきた。しかし、このような研究の殆んどは超伝導、より具体的にはジョセフソン電流、に関心を持つものであった。ところが、全く逆にMの電子状態がSの存在によってどう影響されるかという問題も大変興味あることを強調したい。例としてNMRの T_1 について考えた。

人工格子と価数揺動

東北大理工 糟谷 忠雄

人工格子の技術も最近大きな進歩を示しており、特に半導体系に於ては実用面に於ても急速な発展をみせている。一方金属系に於ては混入等の問題があつて未だ半導体系程の進展はないが、やはりいろいろの可能性が考えられている。以下では現在我々が研究を進めている価数揺動の問題に関連して人工格子がどの様に役立つかを考察したい。

人工格子のメリットとしては以下の様なものが考えられる。(i)一次元長周期構造 (ii)二次元結晶の作成 (iii)層間電荷転移による電子密度の制御 (iv)新しい人工結晶の作製。価数揺動に関しては(i)はあまり用がないが(ii)の二次元近藤結晶は理論との比較し易さとも関係しておもしろいテーマと思われる。可能な試料は多くあり、どの様な組み合わせがよいかは試してみるのが一番かと思われる。(iii)に関して興味深いのは伝導電子数の少ない近藤格子系の研究であり、典型的な例としてCeSb, CeBi, Yb₄As₃がある。元来近藤状態はしっかりしたフェルミ面を持つ金属のフェルミ端発散にからんだ多体状

態であり、近藤温度 T_k には普通はフェルミ準位上の状態密度 $\rho(E_F)$ が exponential に入っている。 $T_k \propto \exp[-E_f / |V_{ef}|^2 \rho(E_F)]$ 。したがって単純に考えれば n_c の小さい、したがって $\rho(E_F)$ の小さい系の T_k は非常に小さくなるはずであるが、上記系はそれぞれ $n_c \sim 0.02/Ce$ 或いは $0.001/Yb$ と小さいにも拘わらず立派な近藤格子系の振舞いを示す。しかし最近我々の測定した T_k 近傍のエネルギーの光反射は異常な反射の低下を示し、通常の近藤格子系とは異なる異常性を示している。特に試料依存性が大きいのが特徴であるが、この点を明確にするには電荷移動型人工結晶を作るのが一番よいと思われる。(V)に関しては多くの問題があり、又可能性があり、一番泥臭いが又面白い所であろう。第一にはサンドウィッチにして格子不整合を利用した正負の実効圧力を利用することであり、又任意の格子構造を強制することも出来よう。第二に任意の組成を強制することも可能と思われる。これにより従来は困難であった微妙な準安定相を作り出すことができると思われる。我々の実験グループにも興味ある準安定相の存在を示す実験がある。一つは $EuTe_{1-x}Sb_x$ である。 $EuTe$ は $4f$ レベルが p -バンドの上端に引掛かった状況にあり、 p -型試料を作ればおもしろい価数揺動状態が期待される。しかしながら p -型を作るのは甚だ困難で Sb もうまく入らない。ところが或る試料はかなり金属的に振舞い、低温で超電導的な抵抗の急減を示した。この試料はその後割れてなくなり、その後このような特徴を持つ試料は作れなかった。今一つは $CeIn_3$ である。これは T_k が数十度と近藤レジームと価数揺動レジームの中間にあり、結晶場分裂レベルも広い巾を持って観測されている型で近藤型からの移り変りを見る上で興味を持って試料を作成したが、通常の $T_N = 10 K$ のネール点より $1.5 K$ 低い所にシャープなネール点を持って $7 K$ で超電導転移を示した。これは帯磁率の測定からは 10% 程度のバルク超伝導と思われる。しかしながらその後の試料作成ではこの型の物質は見出されず、この試料も約 1 ヶ月後には室温アニールの効果で通常型に転移した。その間残留抵抗は $10 \mu\Omega cm$ から $1 \mu\Omega cm$ に減少しており、少なくともストイキオメトリーは非常によいと思われる。以上は微妙な興味ある準安定相の存在を示していると思われる。尚層に垂直方向の運動からはタネリングを含んだ種々の面白いことが期待されるが、それは層を繰り返す必要がなく通常のタネリング形成でよいのでこの点は省いた。

人工格子における電子と磁場

阪大理 伊達 宗行

およそ磁場が無ければ問題が解けるのに、という種類の話がいくつかある。例えば水素原子の問題であり、格子系のプロホ電子である。自由電子に磁場をかけてランダウ問題が完全に解けるのは系を円筒座標で取扱えるからである。水素原子は球座標、格子系はデカルト座標が良くなじむので、一軸性を本命とする磁場は本質的になじまない。したがって完全解は望むべくもない。

ところが Hofstadter は強磁場の極限においてプロホ電子のバンド構造に周期構造が現れる事を

見出した。¹⁾ これは格子振動が $2\pi/a$ の reduced zone structure を持つのと対比される。つまり単位胞内の磁束が磁束量子 Φ_0 の整数倍の所で $\Phi=0$ ，すなわちゼロ磁場に reduce されるわけである。図-1 にこの事情を示すバンド構造が示されている。

ところで2次元正方格子で考えると，単位胞，つまり $a \times a$ の面積内磁束が Φ_0 となるのは 10^9 ガウス程度の，現状では実現不可能な磁場である。しかし人工格子ではこれが制御出来る。例えば一辺が 100 \AA の格子では $\sim 4 \times 10^5$ ガウスとなる。これは現在のパルス強磁場で充分カバー出来る領域にある。もし人工的な格子が高純度金属で作られ，電子の位相が乱されることなくこのような系を移動出来れば Hofstadter の言う reduclion の効果が電気伝導現象に現れると期待される。そしてこれはまた新しい磁気センサーを開発する可能性に道を開く事となる。

1) D. R. Hofstadter : Php. Rev. B-14 (1976) 2239.

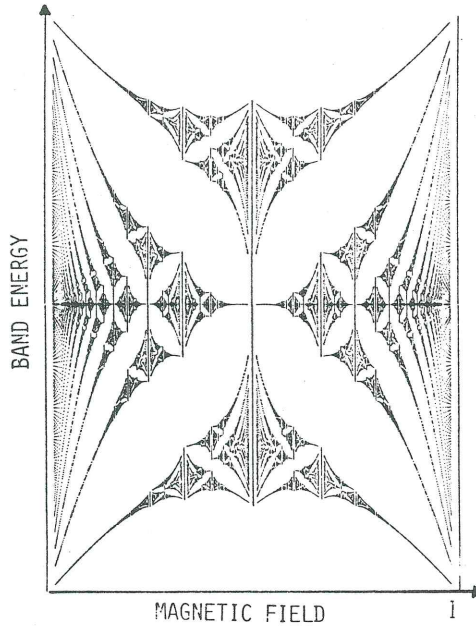


図-1 強磁場下のバンドエネルギー (Hofstadter)
横軸は単位胞をよぎる磁束を Φ_0 でスケールしてある。

物性研短期研究会報告

「結晶核形成と成長」

世話人 中田 一郎
 村田 好正
 後藤 芳彦
 河津 璋

結晶成長機構の研究は極めて長い歴史を持つが学問的な位置づけがなされたのは約 100 年前に Gibbs が熱力学体系を導入した時点と考えるとよい。ところで Gibbs による体積的凝集エネルギーと表面エネルギーを合わせた自由エネルギーによる体系の記述は、後に Wulff の定理、Kossel-Stranski モデルとして結晶成長と結びつけられてきた。

しかし、実際に原子的レベルで平坦な結晶表面と、そこに存在する単原子層、単分子層のステップ構造が直接に観察されて、それまでのモデルを裏付けたのは、ようやく 1949 年のことである。

その後、電子顕微鏡の発達によって数 Å、数 10 Å の結晶核が観察されるようにはなったが、結晶核形成という学問体系に繰込まれるようになったのは意外に最近のことである。しかも、これだけでは、結晶成長機構を掘下げるには不十分であった。

ここで登場してくるのは最近における表面解析研究の目覚ましい進展である。超高真空下における LEED (low energy electron diffraction) 法、RHEED (reflection high energy electron diffraction) 法、Auger 分光法などが普及することにより、構造的に完全な表面である atomic flat plane に新しく形成される単原子層、単分子層の結晶学的構造や幾何学的形態、そのダイナミックな挙動が定量的に明らかになってきた。また、表面に存在する物質の元素分析を行うとともに、質量分析法により、その滞在時間を測定することも容易になった。

一般に気相中における結晶成長機構を研究するためには、外から来た吸着分子の表面滞在時間や表面拡散係数の測定、臨界核の形状と大きさの判定、単原子層の構造の決定などは不可欠である。このようなデータが表面解析のサイドから供給されるようになったということは、結晶成長機構の研究に対しては極めて有利なことである。しかし、今日、国内、国外を通して、それに対する認識はそれほど盛り上っているとはいえない。

幸いにして、我が国における表面解析の研究は半導体工業の分野における量子井戸を含む人工格子の研究の活気に刺戟されて、世界のトップレベルにあるものと考えてよい。この際、結晶成長の分野と表面物性の分野の中堅の研究者に参加してもらい、両者の接点とその周辺について十分な時間をか

けて討論しながら問題点を洗い出し、整理することを目的として当短期研究会を開催することとなった。

プ ロ グ ラ ム

日 時 昭和 61 年 12 月 11 日 (木) ~ 12 日 (金) 2 日間
場 所 東京大学物性研究所 旧棟 1 階 講義室

12 月 11 日 (木)

- | | | | |
|-----|---------------|-----------------------------------------------|-------------------|
| 座長 | 午前の部 | 堀 内 千 尋 (京都工繊大工芸物理) | |
| (1) | 9:00 ~ 9:45 | 結晶成長機構研究の現状 | 中田一郎 (東大物性研) |
| (2) | 9:45 ~ 10:45 | RHEED-X線分光による Si, Ge 上の金属成長過程の研究 | 井野正三 (東大理) |
| (3) | 11:05 ~ 12:00 | Mo 表面上に蒸着された Ag の成長過程とエピタキシー | 後藤芳彦 (東北大金研) |
| (4) | 12:00 ~ 12:30 | 超高真空・高分解能電子顕微鏡による表面・微粒子の観察 | 高柳邦夫 (東工大理) |
| 座長 | 午後の部 | 春 日 正 伸 (山梨大工) | |
| (5) | 13:30 ~ 14:15 | 結晶成長表面における原子の拡散と GaAs - AlGaAs ヘテロ界面の平坦性 | 榊 裕之, 田中雅明 (東大生研) |
| (6) | 14:15 ~ 15:00 | パルス分子線法による InGaAs - InGaAlAs ヘテロ構造の作製 | 冷水佐寿 (富士通厚木研) |
| (7) | 15:20 ~ 16:05 | RHEED 振動法による Si(100) 上の MBE 成長機構の研究 | 坂本統徳 (電総研) |
| (8) | 16:05 ~ 16:50 | 新しい MBE 成長法; Migration-Enhanced Epitaxy (MEE) | 堀越佳治 (NTT 基礎研) |
| (9) | 16:50 ~ 17:35 | MOCVD 法による超格子の諸問題 | 渡部尚三 (ソニー中研) |

12 月 12 日 (金)

- | | | | |
|------|---------------|----------------------------------------|--------------|
| 座長 | 午前の部 | 大 鉢 忠 (同志社大工) | |
| (10) | 9:00 ~ 9:45 | 原子線照射下での表面吸着層の構造相転移 | 村田好正 (東大物性研) |
| (11) | 9:45 ~ 10:30 | LEED による表面過程の研究 | 河津 璋 (東大工) |
| (12) | 10:50 ~ 11:35 | Microprobe 反射電子回折法による Si / Si(111) の研究 | 市川昌和 (日立中研) |

- | | | |
|------------------|-------------------------------|-------------|
| (13) 11:35~12:20 | STMによる結晶表面構造の観察と結晶成長 | 桜井利夫(東大物性研) |
| 座長 午後の部 | 黒田登志雄(北大低温研) | |
| (14) 13:20~14:00 | 液体金属吸着層のRHEED | 市川禎宏(東北大金研) |
| (15) 14:00~14:45 | W, Mo(100)表面再構成と水素吸着効果 | 吉森昭夫(阪大基礎工) |
| (16) 15:05~15:50 | MgO単結晶薄膜中に成長する金属微結晶 | 美浜和弘(名大工) |
| (17) 15:50~16:35 | 金属に吸着した ³ He薄膜の核磁性 | 奥田雄一(東大物性研) |

提案者を代表して中田は結晶機構を研究する際の問題への対応の仕方と最近の表面解析研究との結びつきについてサーベイを行った。現在のところ気相成長を取扱う場合には Kossel-Stranski モデルは現象の核心をついていると考えてよい。そこでは臨界核の生成からクラスター成長を経てステップが形成される動的過程と Frank のらせん転位による成長モデルが基本となってくる。

ミクロに見れば結晶表面への外部からの粒子群の到達頻度、吸着粒子としての表面滞在時間、表面拡散係数、臨界核の大きさを定量的に測定する必要がある。また、構造上は島状に点在して成長する Volmer-Weber 形成、原子層で表面を覆いながら成長する Frank-van der Merwe 形成、両者が複合して、先づ原子層が形成され、その上に島状に成長する Stranski-Krastanov 形成を判別する必要がある。しかし、このような条件を満たす実験を行うことは、今日では極めて容易になってきている。

実例として、イオン顕微鏡を用いて Bayat と Wassmuth の行った W のビシナル面上の K 原子の拡散に関する実験と、電子顕微鏡を用いてアルカリハライドの上に蒸着した金属の島状粒子の分布を直接に測定し、蒸着速度との関連性から臨界核の寸法を決定する方法等を紹介した。

最後に微分干渉顕微鏡による NbSe₄I_{0.33} の (001) 面の 16 Å ステップ群の直接観察例を示し、結晶成長過程をどのように読取るかについての説明を行った。

井野は RHEED (reflection high energy electron diffraction: 反射高速電子回折) による表面構造の測定の際に電子線に直角方向に発生する X 線が表面に対して全反射する臨界角 θ_c において表面元素に特有のスペクトルを示すことを発見した。これを利用すると RHEED で表面構造を調べるとともに、その部分の局所的な元素分析が出来るので RHEED-TRAXS (total reflection angle X-ray spectroscopy) と名づけられている。この方法は、LEED (low energy electron diffraction) - Auger spectroscopy が結晶表面の、せいぜい数原子層の分析に限られるのに対して、島状成長構造を含んで厚みのある表面構造を元素分析を併せて調べることができるので、結晶成長機構の研究には大いに寄与するものである。

Ge, Si の結晶表面での Au, Ag, Ni, Ge, Sn などの吸着過程、表面構造と相転移、成長過程

あるいは離脱過程についての測定例が示されたが、今後MBE (molecular beam epitaxy) の研究に対して極めて有力な方法になるものと考えられている。

後藤はMo(111) 清浄表面に蒸着されたAgの原子層による成長と加熱による超格子構造への転移についてRHEED及びSEMによる研究を紹介した。

RHEEDの解析から室温で蒸着したAgはFrank-van der Merwe形の原子層の積み重なりとして成長する。基板を約400℃に加熱して蒸着を行うとStranski-Krastanov形の構造に成長する。島状成長はSEM像から明瞭に判定される。

いずれも基板に対してエピタキシャルな成長となっているが、これを加熱すると 2×9 、更に温度を上げると 2×2 表面超格子構造が現われる。このようなエピタキシャルな方位関係を説明するために表面ポテンシャル法を用いてbcc(110)面とfcc(111)面の界面エネルギーの計算を行った。幾何学的にみて配置の有利な位置に界面エネルギーの極小が現われることが明らかになった。これはFe-Agなど、他のbcc-fccの組合せに対しても当てはまることが併せて示された。

本庄-八木-高柳の実験としてSi(111)面の 3.1 \AA のdouble layerによるステップ成長の「その場」観察は世界的によく知られているが、今回、その後の研究の進展の一端が高柳によって紹介された。

電子顕微鏡は高分解能・超高真空電子顕微鏡で試料室の真空度は $10^{-9} \sim 10^{-10}$ Torr、分解能は 2.2 \AA であり、清浄な表面上での結晶成長過程を原子層あるいは原子レベルで「その場」観察することができる。

Volmer-Weber形とStranski-Krastanov形の成長過程の例として、結晶化黒鉛上での蒸着Au微粒子の成長とその表面構造及びSi(111) 7×7 表面上に成長するCuの層成長の場合が16mmシネフィルムで示された。前者では数個の原子から形成されているとみられる微粒子クラスターの原子配置の変化の様子が実時間で捕捉されており、成長中に独立に生成した別の微粒子クラスターが接触合体する過程や表面の1原子層の原子配列が内部の格子構造と異なる再配列構造をとる現象などが映画で示された。微小なクラスターが相互に接触して新しい一つのクラスターに合体する時間は約1/30秒であった。まことにダイナミックで目を見張るものであった。

Si(111)表面上でのCuの原子層の成長ではCuがSi表面の 3.1 \AA 段差のステップに優先的に吸着し、Siの結晶格子に不整合な吸着構造を形成することが示された。興味深いこととして、Cuの吸着に伴いSi表面原子の拡散が起り、それに伴ってステップが移動する。Cuの吸着層が表面を覆い尽くした段階では表面のステップ密度は 7×7 表面の半分程度になった。

以上に示したような結晶成長の動的過程は高分解能・超高真空電子顕微鏡によって初めて明らかに

されたものであって、殊に今回紹介された電子顕微鏡は試料室の清浄度の高いことと同時に表面観察の際の電子線の電流密度が従来のもの1/20と低くなっているため、表面に対する攪乱度は著しく減少したために、これまでにない鮮明な像が得られるようになっている。今後Si表面での金属膜、半導体膜の成長過程や表面構造を系統的に研究する計画とのことであるが、その成果は大いに期待されることである。

(参考文献)

1. Kunio Takayanagi et al : Proc. Xth Int. Cong. on Electron Microscopy, Kyoto, 1986, p. 1337.
2. Kunio Takayanagi : ibid p. 133.
3. Kunio Takayanagi et al : Surface Sci. 164 (1985) 367.

次の5件の講演は半導体工業の分野においてヒートしている量子井戸の製作と characterization に関するものである。この方面ではこれまで専らデバイスの性能向上のための努力が続けられているものと受取っていたのであるが、講演を聞いてみると、結晶成長過程が極めて適確に把握されているとともに、技術的には沿面成長を単原子層ごとに正確に制御して量子井戸デバイスが製作されており、淡々と進められる話の中にも結晶成長機構を示す貴重な情報が満ち溢れていて深い感銘を受けるものであった。

まず榊により GaAs-AlGaAs 量子井戸デバイスにおいてヘテロ接合の界面に1原子層である 2.83 Å の凹凸の乱れが入っていると photo-luminescence の線幅がいかに劣化するかの説明がなされた。すなわち、1原子層の凹凸も許されない厳しい成長条件の制御が前提となるわけである。

榊研究室ではMBEでの蒸着を断続的に行うことで蒸着の中断中に表面が atomic flat に整えられることを発見し、photo-luminescence の半値幅を従来の 16 meV から 4~5 meV に向上させることに成功して注目を集めたことが述べられた。

もっとも表面は atomic flat ではなくても、原子層のステップ間隔が、エキシトンの波長に較べて十分に狭い場合(擬似平坦(pseudo-smooth)面)や十分に広い場合にも atomic flat plane と同様の挙動が現われることなど、実験に基づく豊富なデータが示された。

冷水は HEMT (high electron mobility transistor) の性能向上に関連する新しい膜作製法を述べた。この場合の目標には、①電子の飽和速度を大きくすること。②高いキャリア濃度を得ること。③1~1.6 μm の波長領域をカバーすること。が挙げられている。これに対して、現在 InP を基板とする InGaAs-InGaAlAs のヘテロ構造を積み重ねるのが有望視されて研究が進められていた

が、これまでInP基板に格子整合するInGaAlAsの原子層を製作することが困難であった。冷水はパルス分子線法を考案し、InGaAsとInAlAsを交互に蒸着することによってこの問題を解決した。デバイスのphoto-luminescenceの線幅は数meVに達した。

坂本の講演はSi(100)をMBE成長させるときRHEEDの強度が周期的に変化することに結びつけて表面で起っている過程を解析した内容のものである。

GaAsのMBE成長をRHEEDで観ていると、1原子層が完成することに合わせて、反射強度が周期的に変動することは5年程前から知られていた。最近SiのMBE成長でも同様にRHEEDの強度の振動が観察されていて、これは層成長の初期過程の観察やGeSi/Si歪超格子構造の成長の制御に応用されている。

坂本の実験ではSi(100)基板を 4° -offに切断してステップ間隔が 40 \AA のビシナル面を作る。これを 1000°C で焼鈍すると 2×1 構造の単一ドメインとなる。これをMBE成長させながらRHEEDによる実像を観ているとドメインは明るくなったり、暗くなったりを繰り返す。これを解析してみたところ 1×2 構造の原子層と 2×1 構造の原子層が交互に現われて結晶が成長していることが判明した。これは単原子層による結晶成長過程の直接観察として興味深い実験である。

堀越の講演はGaAs-AlGaAsの量子井戸の作成においてAsの分圧を制御してデバイスを改良しようとするものである。一般にIII-V族化合物半導体の成長技術としてMBE法、MOCVD法は最高のものであるが次に述べる2つの問題点が存在する。その一つは成長表面は常に厚さが数原子層の凹凸を伴う。従って、この方法でGaAs-AlGaAsヘテロ接合を作ると界面はatomic flatではない。いま一つは、一般に成長温度が高い。例えばGaAs-AlGaAsの場合に $500 \sim 600^\circ\text{C}$ 以上に加熱するために添加した不純物原子が拡散してその分布がぼける。これはデバイスを設計する上で工合の悪いことである。このように高い温度を必要とする理由は表面吸着分子の移動に対する活性化エネルギーが比較的に高いからである。

堀越はGaAsの成長に当って、意識的にAsの圧力を下げておいてGaを供給すると吸着したGa原子は結晶表面を極めて活発に移動することを発見した。従ってこの方法を利用すると低い温度での結晶成長が可能となる。これはMigration-Enhanced Epitaxy (MEE)法と名づけられたが、この方法により成長温度 300°C で従来のMBE法やMOCVD法で高温成長させたものよりも高品質のGaAs-AlGaAs量子井戸を製作することができるようになった。photo-luminescenceの線幅は 5 meV に達しているが、更に改善の余地があるとのことである。

上にも述べたように一般にMOCVD法では界面に数原子層の凹凸が生ずるために、この方法は量

子井戸の製作には不相当と考えられていた。しかし、研究者の努力の結果5年程前からMOCVD法でも atomic flat な界面をもつヘテロ接合が製作されるようになった。

渡辺はMOCVD法でヘテロ接合を作る場合の方法、表面での物理化学過程、生成膜の characterization のためのLEEDや電顕による格子像などの豊富な資料をもとに明解な解説を行った。殊に $\text{Ga}(\text{CH}_3)_3 + \text{AsH}_3 \rightarrow \text{GaAs} \downarrow + 3\text{CH}_4$ の反応が表面で起るわけであるが、 $=\text{Ga}-\text{CH}_3$ の最後に残った一つの CH_3 が仲々切れないためにMBE法に較べて200℃程温度を上げて結晶成長を行わせなくてはならないとの説明などは、典型的な触媒反応の講義に接しているような充実したものであった。

以上の5件では工業の分野における技術的なプロセスが述べられたが、結晶成長の基本となる過程が把握され、厳密に制御される。その結果が製品の高い品質と結びついているわけで、結晶成長の基礎研究をしているものに対しても、まことに啓発的な内容のものであった。

原子線照射下のダイナミックな条件のもとで表面単原子層に起る構造相転移の研究の中から二三の興味ある現象が村田によって紹介された。

一例として $\text{Cu}(001)$ に室温でK原子を蒸着すると化学吸着し、被覆率 $\theta = 0.3$ において単原子層が完成する。 $\theta = 0.3$ 以下の領域では被覆率の増加に伴ってさまざまな構造相転移を示す。また2次元の液体相は、絶縁体・金属転移を伴って出現する。物理吸着系ではよく知られている一軸性不整合転移、整合・不整合転移の後に出現する回転エピタクシイもこのような化学吸着系において初めて観測された。何れにしても、この現象はK原子線強度が $4.4 \times 10^{12} / \text{cm}^2 \cdot \text{sec}$ では観測されるが、 $5.6 \times 10^{11} / \text{cm}^2 \cdot \text{sec}$ と低下すると現れないことから、原子線照射下ではじめて現われる転移ということがいえる。また、回転エピタクシイに伴って不整合欠陥が現われてくる。

LEEDは結晶表面の二三層までの深さの構造についての重要な情報を提供してくれるので表面解析には欠かせない測定手段である。これについての綿密な一般論が河津によって述べられた。

LEEDからは、①その解析図形の周期性から、表面の二次元的構造における単位格子の大きさ、すなわち、その周期性に関する情報が得られる。②回折強度を解析することによって、単位格子の中の原子の位置、すなわち、表面原子構造を知ることができる。③回折斑点の形状を解析することによって、試料表面の完全性等の表面形態、すなわち、ステップ間隔や配列、点欠陥等に関する情報も得ることができる。

LEEDのこのような特徴を利用すると、原子の吸着による基板の構造変化、吸着分子の反応、基

板内への原子の拡散などの現象を含めて、薄膜形成に際して基板上に生成する島状結晶の形状、密度、反位相領域などに関する情報を得ることができる。これらの情報を総合して、薄膜の成長を精密に制御することが可能になる。

市川（日立中研）は microprobe 反射電子回折法により Si(111) 表面における Si 分子線によるエピタキシャル成長の模様を詳しく紹介した。実像で写し出される表面には double layer による 3.1 \AA のステップ群が存在して、エピタキシー成長と連動している。これは、結晶成長過程そのものを示しているので、まことに興味深いものであった。

基板温度が $350 \text{ }^\circ\text{C}$ と低温の場合には分子線の照射に際して回折スポットの強度が振動し、表面トポグラフも同じ周期で強度が振動する。しかし、基板上の単原子ステップの形は変化しなくて保存される。一方、基板温度を $500 \text{ }^\circ\text{C}$ に保つと回折スポットの強度の振動は無くなるが、単原子ステップの形は変化するようになる。このような現象は、低温では二次元核形成による原子層の成長が起り、高温では、ステップでの捕獲過程で結晶が成長するとして理解することができる。現象の説明に一部矛盾するところもあるが、極めて内容豊富な実験に接して、感銘させられるものがあった。

1986年のノーベル物理学賞に輝いた STM (scanning tunneling microscopy, 走査トンネル顕微鏡) についての一般的概観が桜井によってなされた。

これは1982年にZürich-IBMのG. BinnigとH. Rohrerによって発明されたもので、最初は半信半疑に受取られていたが成果が集積されるにつれて、物理、化学、工学の広い分野で注目されるようになり、全世界に滲透している。われわれにとってはSi(111)表面の 7×7 構造の解明に対する寄与は大きい。

概観は、①歴史的背景、②装置、③理論（三次元的分解能、プローブ・チップの評価）、④応用〔(a) Au(110)面及びAu(100)面、(b) Si(111) 2×1 、及び 7×7 構造面、(c) Pt(110)表面における C_2H_2 の触媒反応、(d) 技術的応用—リソグラフィ、膜の評価、マクロフェーჯなど生体分子の観察〕⑤今後の見通し、よりなり参加者もやや興奮気味であった。また当日の朝、桜井氏にtimelyに郵送されて来たThe Royal Swedish Academy of Sciences発行の1986年Nobel物理学賞受賞者を祝う大きなポスターが会場に貼り出されて研究会に彩を添えることになった。

東北大の市川は液体金属吸着膜の相転移のRHEED法による研究を紹介した。

結晶表面に吸着したままで固相—液相の相転移を可逆的に行う金属の単原子層は次の二つの点から興味ある研究対象となる。

- ① 二次元系の融解・凝固現象の研究。
- ② 下地の表面原子が作る並進対称性ポテンシャル場がアモルファスであるはずの液体金属に対してどのような短距離秩序を与えるか。

これを調べるために少量のPbを蒸着したGe(111)表面のRHEED実験が行われた。室温では回折図形内に $(\sqrt{3} \times \sqrt{3}) R 30^\circ$ 構造表面からの超格子反射が観察され、基板構造に対応した原子層の生成していることが確かめられた。これを昇温すると或る一定温度で超格子反射は二次元液体構造からの散漫なロッドに変わり、温度を下げると元の反射に戻る。

回折図形を解析してみると、吸着されたPbは室温ではfcc Pbの(111)面的構造をとる単原子層結晶として凝集しているが、融解状態では等方的な液体状単原子層となっていて②の予想は満たされないことが判明した。

W(100)表面及びMo(100)表面は表面原子の変位によって再構成相転移を起すが、特に水素原子が吸着すると、この再構成が劇的変化を受けることは実験的によく知られている。この問題の理論的な詳しい取扱いが吉森によって紹介された。

理論的には再構成・吸着系を記述する現象論的な実効ハミルトニアンを導き、吸着水素については格子ガス模型を用いて、表面原子の変位と吸着水素の相互作用を仮定する。W(100)表面に対応する系の水素被覆度の小さいところでの解析は計算機実験によって行われた。計算によれば吸着している水素原子が凝縮する可能性があるとする興味ある結果が得られている。このことで特に本質的な役割を果たしていると考えられるのは、再構成のオーダーパラメータの揺らぎを媒介とする吸着原子間の間接相互作用であることが示されている。W(100)表面では吸着水素の凝縮が起っている証拠はないが、最近の実験によるとMo(100)表面では、このような間接相互作用による吸着水素の凝縮が起っているものと思われているとのことである。

セラミックスと金属が複合した材料であるサーメットに関連してMgOと金属(Au, Fe, Ti)のNaCl面上への同時蒸着法により、MgO単結晶薄膜中に金属微結晶を含む複合膜を作成し、高分解能電子顕微鏡法によりその構造を調べる研究が美浜によって紹介された。MgO-Au膜では、Auは大きさ2 nm見当、厚さ数原子層の微結晶として膜中に成長し、その比抵抗の温度係数はAuの量の多少により正または負となることが判明した。MgO-Fe膜の場合、Feは先ず1 nm見当の α -Fe微結晶として成長し、この膜の1000℃数分間の熱処理によりこれら微結晶は膜中で γ -Feに変態することが観察された。MgO-Ti膜では、Tiはまず秩序空孔を持つTiO微結晶として成長し、1000℃数分間の熱処理により膜中にスピネル構造を持つ微結晶(Mg_2TiO_4)の微結晶の成長が観察された。

これは表面を、いわゆる真空中に曝さない結晶成長であり、高分解能の電子顕微鏡を巧に利用して微

結晶の成長を観察するとともに、モワレ模様から方位関係を知るなど興味深い研究であった。

焼結銀に van der Waals 力によって吸着させた ^3He 薄膜を 1 mK 以下の超低温に冷却すると大きさが約 0.5 mK の強磁性相互作用が出現することを奥田らは見出した。相互作用の起源を探るために ^3He を 1 原子層ずつ吸着させて磁化率を測定すると、固相膜である第 1, 第 2 層の ^3He 膜に更に数原子層の液相膜を付けて初めて強磁性相互作用の現われることが明らかになった。すなわち、液相を媒介とする間接交換相互作用が重要であることが実験的に指摘されたわけである。目下 0.15 mK までに冷したときに強磁性相転移が起るかどうかの研究が進められている。以上が奥田による紹介である。これは吸着膜に関する興味ある問題であるが、焼結銀の表面の characterization が困難であるという難点を含んでいるが、目下のところ広い表面積を必要とするために致し方がないとのことである。

以上により二日間にわたった短期研究会は終了したが、結晶成長の研究者にとって確かな手応えの得られた極めて有意義な研究会であった。同時に表面物性の研究者に対しても、結晶表面における吸着粒子のカイネテックスを考えてもらうチャンスが開けたと考えている。

(文責 中田一郎)

物性研究所談話会

日 時 1987年1月19日(月)午後4時~5時

場 所 物性研究所旧棟1階 講義室

講 師 並 河 一 道 氏

(所属) 東京大学物性研究所

題 目 X線磁気散乱について

要 旨:

X線の磁気散乱は、X線と電子の相対論的相互作用によって生ずる、スピンの依存したX線の微弱な散乱現象である。放射光X線が使えるようになって、このような現象も磁性の研究に積極的に利用できるようになった。講演では、まず、X線の磁氣的散乱と電氣的散乱の相違について説明する。ついで、高エネルギー物理学研究所放射光実験施設において最近初めて観察された、内殻のスピ対電子が寄与する共鳴型の磁気散乱と外殻のスピ対電子(磁性電子)が寄与する通常の磁気散乱の違いについて説明する。通常の磁気散乱の応用については先の談話会において白根博士の講演があったので、重複を避けて、ここではX線共鳴磁気散乱のスピ分解型X線分光法への応用について述べる。

日 時 1987年1月26日(月)午後4時~5時

場 所 物性研究所旧棟1階 講義室

講 師 Prof. Se-Jung Oh

(所属) Department of Physics, Seoul National Univ. Seoul 151, KOREA

題 目 Core-level XPS as a tool to study valence electronic structures

要 旨:

Core-level photoemission spectra often exhibit satellite structures. Their origins have been a subject of controversy for a long time, but are now beginning to be understood as related to the valence electron screening process. In particular, Kotani-Toyozawa model for metallic systems and the charge-transfer model for insulating compounds are quite successful in describing satellite energies and intensities for narrow band materials such as 3d, 4f, 5f electron systems. By studying core-level satellite structures, it is now possible to learn the valence electronic structures of these highly correlated systems. I will talk about specific examples of 4f electron system (La, Ce compounds), 3d transition metal compounds (Cu, Ni, Co, Fe, Mn halides)

and 5f actinide systems (Th, U compounds), and discuss the informations on the correlation energies and hybridization strengths of these compounds obtained from the core-level XPS analysis.

日 時 1987年2月2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 力 氏

(所属) (理化学研究所・原子過程研究室)

題 目 原子衝突素過程とX線レーザー

要 旨:

X線レーザーの基礎となるX線領域での反転分布生成には、電子衝突、電荷移動等の原子衝突素過程が重要な役割をなしている。

本講演ではこれらの原子衝突研究の現状と未解決の問題について概説するとともに、X線レーザーとの関連についてもふれてみたい。

日 時 1987年2月3日(火)午後4時~5時

場 所 物性研究所A棟2階 輪講室

講 師 Prof. F. C. Brown

(所属) (Department of Physics University of Illinois, USA)

題 目 Core Excitons and F-Center Formation in Ionic Crystals

要 旨:

Experimental evidence will be examined for the existence of core excitons at x-ray absorption edges in the alkali halides. The possibility of inelastic recombination channels leading directly to F-center formation will then be considered. Recent experiments on F-center formation by monoenergetic x-rays will be described. These employ a sensitive laser-induced luminescence technique which has been employed in a number of cases. Finally, the efficiency for defect formation will be discussed in terms of electron/hole recombination following a vacancy cascade.

日 時 1987年2月9日(月)午後4時~5時

場 所 物性研究所旧棟1階 講義室

講 師 田 中 昭 二 氏

(所属) 東大・工・物理工学科

題 目 層状ペロブスカイト型酸化物の超伝導

要 旨:

(La, Ba)₂CuO₄, (La, Sr)₂CuO₄ はともに K₂NiF₄ 型の層状ペロブスカイト型構造を持っているが、これらの物質で、最近 40 K に近い高温超伝導が発見された。これらは低電子濃度を持ち、BaPb_{1-x}Bi_xO₃ と同様であるが、その物性は著しく異なる。その原因の一つは、強い異方性を持つことによるものと思われる。特に、二次元超伝導としての特性が次第に明らかになりつつあり、これと、高臨界温度との関係が、一つの焦点となるものと考えられる。

日 時 1987 年 2 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 Prof. J. Joffrin

(所属) (Universite Paris-Sud)

題 目 Electric Dipoles Spin-Glass

要 旨:

Using several experimental criteria, we want to show that K_{1-x}TaO₃-Na_x is an electric dipole spin-glass with many properties similar to magnetic dipoles spin-glasses.

We have observed that for $T > T_G$ the non-linear dielectric constant has a critical behaviour, quite different from other ferroelectrics compounds; at $T < T_G$ it has a relaxation of algebraic character.

A study of $T_G(x)$ allows to specify the conditions where this compound is a spin-glass, a paraelectric crystal, or a ferroelectric crystal.

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) 研究室名及び公募人員数

極限物性部門表面物性 助手 1名

(2) 内 容

本部門では，村田，田中，桜井の3所員を中心とするグループが表面の研究全般にわたり，新装置の開発をも含めすすめている。本公募の助手には，主として桜井所員と協力し，アトム＝プローブ電界イオン顕微鏡，走査トンネル顕微鏡，分子線散乱法などを用いて意欲的に表面研究をすすめる人を希望する。従来の特攻分野は，これを全く問わない。

(3) 資 格

応募資格としては，修士課程修了，又はこれと同等以上の能力を持つ人。

(4) 任 期

5年以内を原則とする。

(5) 公募締切

昭和62年4月4日(土) (必着)

(6) 就任時期

決定後なるべく早い時期を希望する。

(7) 提出書類

(イ) 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。学位名，単位取得のみ，論文提出中等を明示すること)

主要業績リスト(必ずタイプすること)，ほかに主な論文の別刷

(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すること)

業績リスト(必ずタイプすること)，及び主な論文の別刷

所属の長また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

(8) 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

(9) 注意事項

極限物性部門表面物性助手応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。ただし適任者のいない場合は決定を保留いたします。

東京大学物性研究所長

豊 沢 豊

人 事 異 動

発令年月日	氏 名	異 動 事 項	現 (旧) 官 職
61. 12. 31	荻野 瑤子	勸しょう退職	総務課庶務掛主任
62. 1. 1	藤下 豪司	金沢大学教養部助教授に昇任	中性子回折物性部門助手
62. 1. 1	高野 安正	研究休職 (62. 1. 1~62. 12. 31)	極限物性部門超低温物性助手
62. 1. 16	小林 明子	辞 職	極限物性部門表面物性技官
62. 2. 1	高重 正明	復 職	中性子回折物性部門
62. 2. 1	竹屋 浩幸	物質開発室助手に採用	
62. 3. 1	中田 一郎	教授に昇任	
62. 3. 1	生嶋 明	〃	
62. 3. 1	木下 實	〃	
62. 3. 1	田中 虔一	〃	
62. 3. 1	三浦 登	〃	
62. 3. 3	長谷川 秀夫	研究休職 (62. 3. 3~63. 2. 27)	理論部門助手

Technical Report of ISSP 新刊リスト

Ser. A

- No. 1732 Superconductivity and Phase Relations in the Pd-Se System.
by T. Takabatake, M. Ishikawa and J. L. Jorda.
- No. 1733 Surface Tension of Liquid ^4He and ^3He . by Akira J. Ikushima, Masaaki Iino and Masaru Suzuki.
- No. 1734 Equilibrium Phase Stability in the Double RF System for Landau Damping. by Yoshikazu Miyahara, Seiji Asaoka, Akira Mikuni and Kazuo Soda.
- No. 1735 Investigation of Trapped Ions with a Clearing Electrode.
by Yoshikazu Miyahara.
- No. 1736 Non-Ohmic Transport in the Field-Induced SDW State in $(\text{TMTSF})_2\text{ClO}_4$. by Toshihito Osada, Noboru Miura, Isamu Oguro and Gunji Saito.
- No. 1737 First Principle Calculation of Thermodynamic Properties of Noble-Metal Alloys. by Tetsuo Mohri, Kiyoyuki Terakura, Tamio Oguchi and Katsuya Watanabe.
- No. 1738 NMR Relaxation Time of the Anisotropic Superconducting State in Quasi-One-Dimensional Systems. by Yasumasa Hasegawa and Hidetoshi Fukuyama.
- No. 1739 Time-Delayed Four-Wave Mixing Using Incoherent Light for Observation of Ultrafast Population Relaxation. by Norio Morita, Takashi Tokizaki and Tatsuo Yajima.
- No. 1740 Cluster Reaction from the View Point of Nuclear Reaction.
by Satoru Sugano.
- No. 1741 Electron-Nuclear Double Resonance of Dangling-Bond Centres in $\alpha\text{-Si:H}$.
by Haruo Yokomichi, Izumi Hirabayashi and Kazuo Morigaki.

- No. 1742 Phonon Softening in Ferromagnetic BCC Iron. by Hideo Hasegawa.
- No. 1743 High-Tc Superconductivity of La-Ba (Sr)-Cu Oxides. IV-Critical Magnetic Fields. by Shin-ichi Uchida, Hidenori Takagi, Shoji Tanaka, Koichi Nakao, Noboru Miura, Kohji Kishino, Koichi Kitazawa and Kazuo Fueki.
- No. 1744 Proton Spin Relaxation in the Superconducting State of $(\text{TMTSF})_2\text{ClO}_4$. by Masashi Takigawa, Hiroshi Yasuoka and Gunzi Saito.
- No. 1745 Alloyed Interface Formation in Au-Si (111)2X1 System Studied by Photoemission Spectroscopy. by Motohiro Iwami, Toshiyuki Terada, Hiroshi Tochihara, Masakazu Kubota and Yoshitada Murata.
- No. 1746 Very Thin PbI_2 Single Crystals Grown by a Hot Wall Technique. by Yasushi Nagamune, Shojiro Takeyama, Noboru Miura, Akira Misu and Teruaki Minagawa.
- No. 1747 Characteristics of a New-Type SHG Crystal β - BaB_2O_4 in the Femtosecond Region. by Yuzo Ishida and Tatsuo Yajima.
- No. 1748 Observation of Kondo Resonance in YbAl_3 . by Se-Jung Oh, Shigemasa Suga, Akito Kakizaki, Masaki Taniguchi, Takehiko Ishii, J. -S. Kang, J. W. Allen, O. Gunnarsson, N. Christensen, A. Fujimori, T. Suzuki, T. Kasuya, T. Miyahara, H. Kato, K. Schönhammer, M. S. Torikachvili and M. B. Maple.
- No. 1749 Photo-Ionization of Residual Gasses in Electron Storage Rings. by Yoshikazu Miyahara.
- No. 1750 Mn 3d Partial Density of States and p-d Hybridization in $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Y}$ (Y=S, Se and Te). by Masaki Taniguchi, Atsushi Fujimori, Masami Fujisawa, Tamiko Mori, Izuru Souma and Yasuo Oka.

No. 1751 Evidence for a Trimer in the $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ - Bi Structure on the Si (111) Surface by X-Ray Diffraction under the Nearly Normal Incidence Condition. by Toshio Takahashi, Koichi Izumi, Tetsuya Ishikawa and Seishi Kikuta.

No. 1752 Anomalous Resistivity and Superconductivity of $\text{Li}_{0.9}\text{Mo}_6\text{O}_{17}$. by Masatoshi Sato, Yuji Matsuda and Hidetoshi Fukuyama.

No. 1753 Electron Correlations in Effective-potential Expansion Method. by Yasutami Takada.

Ser. B

No. 23 Design Consideration on a Multipole Wiggler for Intense Radiation in a VUV Wavelength Region. by Yoshikazu Miyahara.

編 集 後 記

今年の東京の冬は雪の多かったわりには暖かく、もう街もすっかり春の装いになってまいりました。今月号には所内外の方々からいただいた5編の寄稿と2つの短期研究会の報告を載せることができました。お忙しい中を御執筆下さった皆様に厚くお礼申し上げます。特に国府田先生からは物性研の物質開発計画に関して貴重な御意見をいただきました。「物性研だより」では今後も皆様からの積極的な御意見、御要望をお待ちしております。

なお次号のメ切は4月10日です。

福 山 寛
石 川 征 靖

