

物性研だより

第3卷
第1号
1963年4月

目 次

研究室紹介

- 中村研究室 中村輝太郎 1
- 矢島研究室 矢島 達夫 3

研究室だより

- 東北大学電気通信研究所物性関係 津屋 昇 7
- 金材技研 金属物理研究部 田岡 忠美 11

研究会報告

- 「格子振動と強誘電性」 中村輝太郎 18
星埜 穎男
- 「半金属の物性」研究会 田沼 静一 24
- 「金属磁性薄膜」研究会 近角 聰信 31
辰本 英二

サロン

- 共同研究に参加して 青柳 淳 56
- Some Impressions of Japan Robert Rhodes 57

物性研ニュース 60

東京大学物性研究所

研究室紹介

中村研究室

中村輝太郎

昨昭和37年8月より私が着任して以来、まだ日が浅く、研究室としての態勢がまだととのつてない現在、「研究室紹介」の順番がまわって来てしまつた。目下の状態では、研究室の近い将来での構想と、研究室建設の初期条件を紹介することでご勘弁いただくしかないことをおじめにおことわりしておきたい。

本研究室では強誘電体の基礎研究を行う。

強誘電体研究の歴史を振りかえつてみると、戦後まもなくの頃、その巨視的性質が強磁性体のそれと analogous であるという理由で多くの研究者の興味をひき、かなり華々しい研究の発展があつて以来、研究は steady state に入り、固体物理学全分野の躍進的発展の平均値から、とり残されたかにみえた one decade があつた。しかし、その間、強誘導体の研究者は、手をこまねいていたのではない。いやそれどころか、着々と、その基礎固めをやつていた。まず第1に、その decade の間に、おびただしい数の強誘電体が発見された。当初、特異な物質であるとして奇異の眼で研究された強誘電体も、もはやめずらしいものではなくなつた。一説に曰く、強誘電体として登録された物質の数は、年の exponential に比例すると。第2に、いくつかの強誘電体の物理的属性に関して、その decade の間に徹底的に data の集積が行なわれた。Descriptive science としての成長期を一時期もつことは、若い学問の宿命である。その時期をすでに完了したということは、最新の物性物理学的手段による研究や、理論的研究を行なおうとするとき、充分な reference が用意されている状態になつたことを意味する。

固体物理学全分野の躍進的発展の平均値からとり残されたかにみえた steady state から、昨今脱却して、新しい物性物理学的な眼を通しての研究段階への飛躍的突入の兆候は明瞭である。これは世界的趨勢である。

新しい研究段階における強誘電体の基礎的研究としては、次に述べるいくつかの題目が attractive である。

(i) 強誘電性と格子振動の問題。強誘電体では、高温から温度を下げていつて、相転移の温

度に達すると波数が零の横波の光学的モードのうちのあるもの、振動数が imaginary になることによつて強誘電性を生ずるという考えが最近広く受け入れられてゐる。この線に沿つての実験的研究としては、赤外、遠赤外における吸収、中性子の非弾性散乱、X線の散漫散乱の研究などが行なわれてゐる。

(ii) 強誘電体における相転移の問題その他微少なイオンの変位を伴う現象についての研究。

強誘電性現象は、イオンないしは原子が、微少な変位をすることが特徴であつて、これは(i)に述べたこととも密接に関連している。微少な変位が協同的に起るのは相転移のときであるが、これを含めてイオンの微少な変位を、いろいろな線の回折でさぐるという研究は、重要で興味ある問題である。

(iii) 強誘電体に特有な電気的特性は、しばしば結晶の不完全性、結晶組織などに大きく影響される。また、強誘電体の分域構造は、新しい結晶組織の category を供給するものである。結晶の不完全性や結晶組織の問題は、結晶成長や溶解の問題と関連している。この研究にも、また、回折の方法が有効に応用され得よう。

(iv) これまでの強誘電体の研究は、イオン結晶という仮定の上で行なわれてきた。これは、電子のふるまいの問題をなおざりにして来たことを意味する。というより、電子のふるまいに関する information を実験的に得る方法がみづからなかつたといるべきかも知れない。しかし、レーザーを用いて非線型性をしらべようという研究は、この方向に一歩ふみだしてゐるし、その上、最近、光伝導を示す強誘電体が発見されたことは、この方面への、今まで出来なかつた研究を促進する可能性を充分含んでゐる。

これらの問題を頭において、新しい研究室づくりの青写真を、楽しみながらひいてゐるのが現状だが、当研究室としては、次のような方針で行きたいと思つてゐる。

まず、上に掲げた4項目のうち、(i)に重点をおく。とくに、遠赤外と赤外における、強誘電体のふるまいを研究して、本質的な問題に肉薄したい。中性子の非弾性散乱や、X線散漫散乱の研究については、星埜さんと密接に協力して行いたいものと思つてゐる。

私が今までにやつて来たのは、(iii)の問題で、この問題は、さらに extend してやつて行く計画をもつており、X線的、電子線的に研究する方向に進みたいが、この方面では、細谷さんと、密接に協力してやつて行きたいと思つてゐる。

(ii)の問題は、星埜研究室ですでにすぐれた業績をあげていられる。私の研究室でも、余力が

あれば、この方向の研究を行いたいと思つている。

(IV)の問題は、まだ将来に属するが、これはどうしてもやらなければならない問題で、ゆづく
り想を練りたいと思う。

以上のような基本方針のもとで、研究室の建設が軌道にのりはじめている。すなわち、実験
設備としては、(I)に重点をおく意味から遠赤外分光光度計、赤外分光光度計の購入を予定して
いる。(II)の問題の研究のために、水溶性および flux 法による結晶作製装置、結晶光学的研
究のための光学装置を発注すみであり、また、一般誘電測定装置、electronics 的な強
誘電体測定装置を設備中、もしくは予定している。ただし一般誘電測定装置の中には、旧沢田
研究室から移管されたものを含んでいる。上に述べたように、X線、中性子線、電子線などは、
強誘電体研究の重要な武器となり得るが、物性研究所には結晶工、且に精銳の先生方がいられ
て、最高級の設備があるから、当研究室での当面の設備計画からは削除した。しかし、X線の
装置は、ある程度当研究室にも備えるようにしたいものと思つている。

来る4月から助手として、石橋（現在東大大学院博士課程在学中）の着任が決定している。

矢 島 研 究 室

矢 島 達 夫

この研究室は昨年の8月に発足したばかりです。実はまだ自信をもつて内容の紹介ができる
段階ではありませんが、是非書くようにといひ編集長の厳命なので、取り敢えず研究方針のよう
なことを中心に述べて御批判を仰ぎたく思います。当研究室は一応誘電体部門に属しております
が、講座設立の発端からいつて、看板と内容にかなり相違があり、多少特殊な性格もある
かと思いますので、その辺をできるだけ理解して頂くことが本稿の主な目的の積りです。

§ 1. 基 方 方 針

簡単にいえば「量子エレクトロニクスの分野で物性の立場から興味ある重要な基礎的問題を
取り上げ、併せて関連した新らしい実験技術や方法などの開拓にも努める」というのが当研究

室の狙いです。

メーザーを中心として発展した量子エレクトロニクスは科学技術の広い分野にまたがる新らしい境界領域的学問で、研究者によつて種々様々な立場や受け取り方があると思います。私はこれに対して「分光学（大体電波から紫外線位の範囲）を基盤とした物質と電磁波との相互作用及び電磁波そのものに関する総合的な科学」というイメージをもつています。勿論こういつたことは物性研究の中に昔からある程度“手段”として入つていたわけですが、それ自体を新しい研究対象として取り上げることが基礎科学としての量子エレクトロニクスの本命であろうと思つています。

メーザーに関連した物性的な研究といえば一般に(i)メーザー物質のエネルギー構造の研究、(ii)メーザー作用あるいはこれに関連した輻射現象や緩和現象などの dynamic な過程の研究、(iii)メーザー作用やこれに類似の現象、あるいはメーザー出力を利用した物性研究の三つの側面が考えられます。物性研究としては(i)が最もオーソドックスな面ですが、これは所内外の専門家と協力して適宜研究を進め、私の方では主として(ii), (iii)の問題に力を入れたいと考えています。

量子エレクトロニクス（メーザーに限らぬ）で扱われる物質は一般に問題の波長領域で sharp なスペクトルをもつ物質が多いわけですが、原理的には特に制限はありません。この分野では始に一般的な何等かの現象が注目され、次にそれを実現し研究するのに最も適した物質が具体的な対象として選ばれるという case が少くありません。そこで我々も物質の種類を始めから限定せず必要に応じてどんな物質でも取り上げるという心構えでいたいと思っています。

メーザーの研究は現在光と赤外線領域が主体で、我々も一応これを取り上げるわけですが、今後の重要な問題はマイクロ波との中間にある遠赤外領域で coherent な光源を実現することです。現在一応遠赤外全領域で分光測定が可能にはなつていますが光源と検知器の制約のため、かなり限られた条件での測定しかできない現状であると思います。メーザーはこれに対しても明るい道を開く可能性をもたらすわけで、遠赤外領域での新らしい技術開発を伴いながら、関連した物性を研究していくことも我々の一つの目標です。量子エレクトロニクスではまた波長領域の異なる幾種類かの電磁波を組合わせた多重共鳴や多重量子遷移などによつて多様な現象や実験方法が生まれてきます。そこでなるべく広い波長範囲が取扱えることに留意し、大体マイクロ波から近紫外までの領域（連続的に統いてはいませんが）が一応実験できるように計画

しました。

§ 2. 実験装置

研究の性質上あまり特定の目的に固定化した装置は避け、融通性のある基本的な装置を備えることにしました。主なものは以下の通りですが、未だ未納、未発注のものが多いので簡単に記します。

(1) 固体光メーザー装置

最高励起エネルギー約 6 K joule, ヘッドは自作、ルビー、その他

(2) 光学測定器

回折格子分光写真器（モノクロ兼用、プリセレクター付）（未納）

$$\lambda = 0.2 - 1.5 \mu \quad f = 500 \text{ mm}$$

その他フアブリ・ペロ干渉計、オートコリメータなど

(3) 遠赤外分光光度計（中村研と共に）（未納）

2.5 μ ~ 1000 μ 回折格子使用、日本分光製

(4) 簡易型赤外分光光度計（中村研と共に）（予定）

2.5 μ ~ 25 μ プリズム使用

(5) 中型電磁石（2 ton, 6cm ギャップで約1万ガウス）（予定）

(6) マイクロ波（Xバンド及びKバンド）回路及び分光計（予定）

(7) シンクロスコープ、記録計、パルス発生器、その他計測器類

§ 3. 研究計画

現在計画中のテーマは以下の通りです。これらを必ずしも全部やる積りではなく、又到底できない相談ですが、装置とメンバーが整い次第出来ることから手をつけていきたいと思っています。

- (1) 固体光メーザーの発振現象と特殊実験技術の研究。特に外部共振器による発振特性の制御と Q-spoil 法による高出力レーザーの開発。
- (2) レーザー光による非線型光効果の研究
高調波発生、光混合、多重光子吸収、非線型及び誘導ラマン効果など。
- (3) 非線型光効果による遠赤外線の発生の研究
- (4) 遠赤外メーザーとして可能性のある物質の分光学的研究。（遷移金属や稀土類イオンを

含む結晶、半導体、分子など)

(5) 半導体遠赤外検出器の研究。(遠赤外光伝導の研究と高感度のfast detectorの開発)

(6) 光とマイクロ波の二重共鳴による分光学とその応用の研究。(光ポンプ、光検出とマイクロ波共鳴を組合せる方法による電子励起状態や緩和現象の研究。レーザー光とマイクロ波との二重共鳴現象の研究。光のマイクロ波変調や復調に関する基礎研究など)

§ 4. 終りに

この分野は進歩の速度が極めて速いことと、基礎と応用とのつながりが密接であるため、状勢判断と対外的な配慮が特に重要と思われます。なるべく流行に振り回されないで独自の道を歩みたいと思いますが仲々難しい問題です。

我々の研究計画には多方面の物性の問題がからんできますが、一研究室でこれらのすみずみまでこなすことは到底不可能なことです。関係研究室の御援助と御指導を期待すると共に、我々もこの方面に関心のある方々のお役に立てるよう今後積極的な協力体制を整えたいと考えております。

研究室のメンバーは現在私の外、阪大助手の久保田が留学研究員として滞在中で、4月から東大博士課程卒・松岡が助手に、お茶の水大卒の岡田が技術員として就任の予定です。当方の計画に賛同される所外の方が何らかの形で研究に参加されることも事情の許す限り歓迎する方針です。

研究室だより

「東北大学電気通信研究所物性関係」

津屋昇

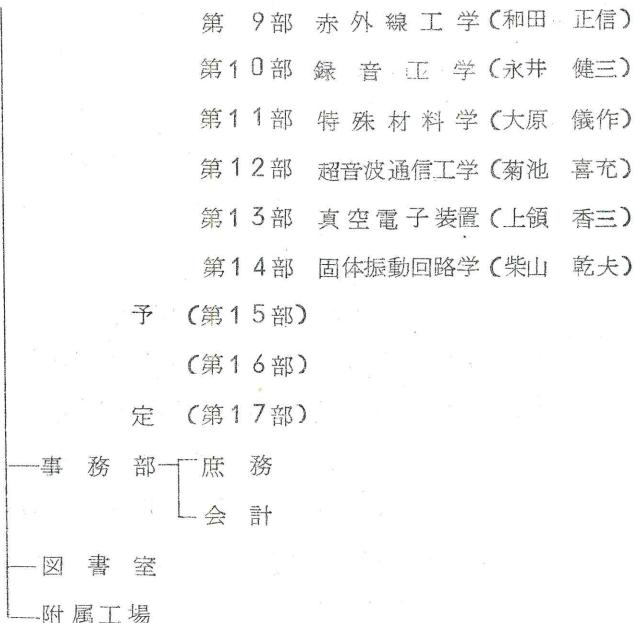
中嶋さん並びに田沼さんから「研究室だより」に何か書くようにとのお話をありました。最近東北大学通研の新屋舎が完成し、現在引越の真最中で全職員混乱をきわめております。従つて通研の紹介も形だけのもので御容しや願いたいと思います。

東北大学電気通信研究所の設立は大正13年のことで、当時八木秀次、抜山平一、千葉茂太郎の三教授により我が国で初めて電気通信に関する研究が組織的に始められたことに端を発します。これらの研究は、狭い意味の電気通信だけではなく、すでに物性関係の研究も含んでおりました。

その後、各種の電気通信技術の進歩に伴なつて研究の重要性が認められ、昭和10年正式に東北大学附属の研究所として設立されたのが当研究所です。初代所長抜山教授について二代目の所長として渡辺寧教授が就任し、ついで現所長の永井健三教授がこの後をつぎました。その頃257坪の屋舎が設立されましたが、手狭をきわめていたところ今回1146坪の本館が竣工し、現在引越の真最中というわけです。

本研究所の組織は現在次のとおりです。

		名 称
所長 (永井 健三)	研究部	第1部 音響通信(菊池 喜充) 第2部 電気通信方式(大泉 充郎) 第3部 固体電子工学(高橋 正) 第4部 電波伝送系(内田 英成) 第5部 超高周波(喜安 善市) 第6部 通信用電子物理(西沢 潤一) 第7部 電気通信材料学(津屋 昇) 第8部 情報理論(本多 波雄)



本研究所は研究教授会という特殊組織と深い関係にあるのが特徴です。研究教授会とは、工学部の三電気関係学科（電気、通信、電子）の各教授と電気通信研究所の教授とから成立し、重要な議題はここで審議します。従つて研究、教育行政は四者一体で行われており、授業も大学院学生の配置もほとんどこれらの間に区別はなくおこなわれていますが、このようなことはたぶん他の研究所では類例をみないことと思います。研究員としては一部門あたり、教授1、助教授1、助手2、雇員2で他は事務等にまわっています。前にした以外に職員氏名は次のとおりです。なお電気関係三学科より併任されている教授、助教授もあわせて*印で示しますが、全教官が互いに併任となつております。

教 授	*高野 知彦(電 気)	*福島 弘毅(電 気)
	*真野 国夫(通 信)	*二村 忠元(電 気)
	*八田 吉典(電 子)	*虫明 康人(通 信)
	*長尾 重夫(電 気)	*菊地 正(電 子)
	*吉田 重知(電 子)	*佐藤利三郎(通 信)
	*清水 洋(通 信)	*松尾 正之(電 子)
城戸 健一		武内 義尚

助教授	小野寺 大 永井 淳 村尾 剛 岩崎 俊一 柴田 幸男(電子) *鹿野 茂(原子核) *山田 麟(電気) *杉畠慶一郎(電気) *安達 三郎(通信) 野口 正一 *鹿野 哲生	西田 茂穂 稻場 文男 関 審雄 *松本 伍良(通信) *斎藤 伸自(通信) *穴山 武(電気) *村上 孝一(電気) *高橋 理(計算センター) 奥山大太郎 米村 正行 *竹田 宏(電気)
助手	錦木 久喜 近藤 哲夫 福島 美文 佐藤 東八 萱場 隆 富田 真吾(計算センター) 萩野 実 海沼 清三	大内 進 坂爪 新一 宮本信雄 千葉 二郎 坂田好一郎 猪苗代 勉 姥名 良雄 増田陽一郎

研究の状況もくわしく御説明すればよろしいのですが、今回は御勘弁戴き、1962年度にとりあげられている物性関係の研究題目を正確ではありませんが、あげるだけにとどめたいと思ひます。いずれそのうちに、また機会を改めて御説明したいと思つております。

研究題目	担当者
希土類化合物の磁性の研究	(津屋・村尾・姥名)
増巾作用の量子論的研究	(津屋・姥名)
金属の磁性の研究	(村尾)
強磁性交換積分(d-電子)の研究	(猪苗代)
強磁性薄膜の磁気異方性の研究	(津屋・海沼)
電子流のエネルギー分布の測定	(吉田・岩間)

- イオン結晶の着色現象の研究 (吉田・池田)
- 電子ビームの透過現象の研究 (柴田・小野・武藤・菰田)
- 熱電子発電の研究 (木原・小野・柴田)
- トンネルエミッショ nに関する基礎研究 (柴田・熊谷)
- トンネルエミッショ n冷陰極の研究 (柴田・熊谷)
- プラズマ中のイオン波の総合研究 (八田・菅原・佐藤・佐藤)
- 振動のある場合の探針測定の研究 (八田・菅原)
- プラズマの加熱の研究 (長尾・杉田・渡辺・後藤)
- フェライト磁歪振動子の研究 (菊地・清水)
- 合金粉末記録用磁性体の研究 (永井・岩崎・守屋)
- 磁性薄膜による記録磁性体の研究 (永井・岩崎・守屋)
- 荷電粒子の振動と音響の関係の研究 (二村・城戸)
- 振動子材料としての強誘電性磁器の開発 (大原・坂田・増田)
- 録音用磁性テープの研究 (津屋)
- 不均質媒質中の電波伝搬の基礎的研究 (虫明・安達)
- マイクロ波から光波領域に及ぶ量子的パラメトリック効果 (内田・稻場)
- プラズマを用いたマイクロ波の増幅の研究 (木原・小野・柴田)
- 半導体の輻射再結合機構の研究 (高橋・萩野)
- 酸化物粉末層の導電機構の研究 (高橋・萩野)
- 光電陰極に関する基礎的研究 (高橋・萩野・近藤)
- 半導体のガス吸着の研究 (高橋・近藤)
- 薄膜トランジスタの研究 (和田・高橋・宮下)
- 有機樹脂薄層のX線電子写真への応用の研究 (和田・高橋・甲田)
- 酸化亜鉛の色素増感の研究 (和田・高橋・宍戸)
- 酸化鉛のX線伝導の研究 (和田・高橋・関・飯沼)
- 酸化鉛光導電セルの研究 (和田・関)
- 赤色EFL螢光体の研究 (和田・宮下)
- 硫化亜鉛粉末の高電界中の挙動の研究 (和田・宮下)
- 陰極線ルミネンスの研究 (和田・宮下)

酸化すず系薄膜抵抗体の研究	(和田・関)
シリコン単結晶の研究	(西沢・宮本)
半導体の強電界現象の研究	(西沢・清水)
半導体による光波の発生及び変換の研究	(西沢・和田・吉田・高橋・上領・武内・西田・関)
半導体のフェルミ準位の挙動の研究	(吉田)
超音波電子交互作用の研究	(菊地・大原・和田・上領・高橋・柴山・清水・西沢)
半導体の破壊の研究	(眞野・高樹)
高真真空蒸着薄膜の研究	(津屋・上原・海沼)
電着薄膜のスイッチングの研究	(津屋・上原)
蒸着薄膜抵抗の研究	(大泉・小野寺)
強磁性薄膜の研究	(大泉・小野寺・高橋)
超電導現象を利用する電子計算機素子の研究	(大泉・小野寺・大串・三丘・袋井)
赤外波及び光波固体メーザーの研究	(内田・稻場・坂爪)
進行波型固体メーザーの試作の研究	(内田・稻場・早坂・中鉢)
極低温固体メーザーの広帯域化の研究	(内田・稻場・上田)
マイクロ波固体メーザーの新しい材料の研究開発	(内田・稻場・上田)
メーザー用結晶の水熱合成の研究	(大原・長谷川)

金材技研 金属物理研究部

田 岡 忠 美

「研究室だより」に私共の金属物理部を紹介する機会を与えられましたが、先輩研究グループのように輝しい歴史も、業績もなく、紹介に値するか否かあやぶんでいます。しかし私共の多くが大学の研究室から、国立研究所の組織の中に入り、何を考え、何を目標にし、どんな組織の下に研究を進めているか、また大学学部や大学附属の研究所の研究グループとはどんな関係にあることを望んでいるか等、日頃感じていることを述べ、御批判や御指導、御利用出来る点は大いに御利用していただきたいと存じます。

§ 1. 金属物理部の歩みと組織

昭和31年7月 “金属材料技術に関する基本的、総合的研究及び試験を実施して、金属材料の品質向上に資する” という目標で、金属材料技術研究所が発足しました。設立当初、研究4部中の第2部の中に物理冶金研究室がおかれたのが金属物理部の芽ばえであります。その後、研究所の拡張と共に、第2部内の他の研究室と合併、分散をくりかえしながら昭和36年度金属物理研究室が増設され、37年度2つの研究室を中心にして第2部の半分が独立して、金属化学部と共に基礎研究部の一つとして金属物理部が誕生、第1、第2、第3研究室と物理試験室で発足しました。更に昭和38年度から第4研究室が増設され、物理試験室が物理分析室に変ることになつています。これで一応金属物理部の体裁が出来上りましたので、その組織と所属研究員をあげます。

金属物理部 部長 田岡忠美

金属材料等の物理的性質に関する基礎的研究

第1研究室 室長 能勢 宏 外2名

金属材料等の物理的性質に関する基礎的研究(第2、第3、第4を除く)

第2研究室 室長 併任田岡忠美 外4名

金属材料等の塑性変形機構に関する研究

第3研究室 室長 吉田秀彦 外4名

金属材料等の結晶構造の変化に関する研究

第4研究室 室長 藤田広志 外1名

金属材料等の格子欠陥に関する研究

物理分析室 室長 予定高木甲子雄 外1名

金属材料等の物理分析に関する研究

外に研究室に研究補助者、2名、物理分析室にオペレーター、6名が部に所属、また、共同研究のため、金属関係会社から特別研究生として、私共のグループに入つて研究されている方が2～3名います。

ここに、ことさらに国立研究所の組織にそつて、固苦しい区分を述べて来ましたが、次に具体的に研究を進めて行くまでの研究題目の選定、予算の要求、実行予算、研究の進め方の実状について述べます。

§ 2. 物理研究部の性格

まず研究題目の選定ですが、基本的には二つの考え方があります。第1は研究所全体として設立の主旨にそつて採り上げられた総合的な研究（基礎一応用一開発研究を含む）の基礎部門を担当することです。第2は金属物理学として重要な問題を學問的に取り上げその成果が第1の目的を果す素地を培つておくことです。研究所や研究部の規模や研究員の研究歴に応じて、第1、第2の何れに重点がおかれるか変つてしまふが、現在は第2に重点がおかれております。

處で、古い輝しい歴史と実績をもつ東北大金属材料研究所や、全国の優秀な頭脳を集めて、陣容を整えられ活発な活動をしていられる東大物性研究所をはじめ、全国の物性関係研究グループのある中に私共の進むべき道を発見することに大変苦労しています。

まず、余り研究領域を括げず集中的に、また各研究テーマの研究結果が相互に直接比較、検討し合えるように組織的にやらねばならないことは異論はありませんでしたが、次に金属材料の物理的性質の基礎的研究の“基礎”という範囲が問題となりました。物性研の基礎的かつ総合的研究における“基礎的”という意味は“物質を構成している原子、分子の配列およびその運動、もつと微細な点に立入れば、物質を構成している原子核および電子などの粒子間に働く特殊な相互作用、それから結集する運動状態の特性にもとづいて、その物質が全体として示す多種多様な諸性質を統一的に究明する”と要覧にかかげてあります。私共は金属材料“技術”研究所の基礎研究部として、一応前半“物質を構成している原子、分子の配列およびその運動にもとづく諸性質を統一的に究明する”立場に立つことにしました。私共の研究歴から自然格子欠陥とそれに敏感な金属の電磁気、塑性的性質が浮び上りました。材料としては、格子欠陥の立場からまだ未解決の分野が広く、金属材料としての有用性の多い、体心立方格子金属を探り上げることになり、初めに鉄及び鉄系合金が主材料として選ばれました。後には他の体心立方、遷移金属としてMo、W 及 Nb やその合金が仲間入りしました。なお、研究の方向づけの点から、また金属の基礎的な特性という立場から、諸特性の結晶方位依存性に注目、異方性の著しい特性が自然に選ばれるようになりました。

次に観察、測定装置の整備ですが、物理分析室は研究所全体の主な物理測定装置——X線、電子線、熱、電磁気、精密機械試験関係——の中央管理、装置の改良、開発、試験測定法の改良を任務としていますので、一般測定装置は一応所全体としての方針にそつて現在の最高レベルのものが整備されつつあります。しかし金属物理部としては研究内容に応じて、計画

的、重点的に整備することが望れます。上述のように格子欠陥に関連した性質を研究する上から、直接観察が広い温度範囲に亘つて可能な超高圧電子顕微鏡に第1の重点をおき、次に広い温度範囲に亘つて、低温から変態温度までの測定が可能なよう $H\Theta$ 液化器を中心とする低温測定装置に重点をおいてきました。9月に500KV電頭が、3月中に $H\Theta$ 液化器が整備される予定になっています。

これで、一応研究員14~5名が一つのグループとして研究出来る組織と基本設備整備の見通しもつき、現在次のようなテーマの研究が進行または計画されつつあります。

§ 3. 現在の研究状況

研究テーマを大別して、磁性と超電導に関連したものと機械的性質に関連した二つにすることが出来ます。

磁性特に強磁性薄膜の磁性と格子欠陥に関連した問題が、都立大での研究に引続いて、能勢を中心として行われています。彼等は、強磁性蒸着薄膜の磁気特性を強磁性共鳴、スピノ波共鳴吸収技術を中心として、Ni-Cu, Co-Pdについて強磁性交換結合係数、交換積分 g factor 等を3d電子数に関連して測定してきましたが、更に3d遷移金属の相互間の合金系に拡げると共に低温での測定を計画しています。このため $H\Theta$ 液化器の整備と共に、大型マグネット(約20ton 60mm ギャップ 35,000ガウス)と低温強磁波共鳴吸収測定の設計にかかりています。特に薄膜の製作条件を整えるため、蒸着時の不純物の混入をさけ、超高真空中蒸着速度の広い範囲の調節を考え、電子線溶解電源を備えた、真空度 10^{-10} mmHg を目標とした超高真空蒸着装置を計画中であります。研究の方向は、多結晶膜のみならず、単結晶膜についても整った条件の下に蒸着された薄膜の微少不純物、その偏在、格子欠陥等を充分に、X線マイクロアナライザー、X線回折、電子顕微鏡等で検討し、その微細構造と磁気特性との関係を明らかにすることに向けています。

次に総合研究超電導マグネット材料の一部として、4d遷移金属、Y-Zr-Nb-Mo-Re相互の合金の超電導特性を組織的に測定しようと計画しています。差当つて測定に都合のよい試料の作製が問題となります。簡便な方法として、蒸着により細い合金の線または薄膜を作り、その結晶微細構造を調べながら超電導特性を測定、基礎的な研究の手がかりを得ると共に、新材料の開発研究グループへの手がかりとしたいと思つています。

第2の機械的性質については、格子欠陥の基本的性質、低温クリープ、降伏、疲労、脆性破

壞等の研究を、高純度鉄、低炭素鉄、珪素鉄等の同一素材を用いて行つています。特に最後には共通に製作した単結晶を用いて、結晶異方性を明らかにする目的で、マクロな測定と電子顕によるミクロな観察を平行して行つています。

格子欠陥の基本的性質の研究には、京大の小林氏、京工織大の橋本氏の御協力を得て、田岡を中心とする 500KV 電顕の整備に努めています。4月阪大藤田の転任と共に、わが国としては初めての 500KV 電顕の 9 月中の一応の完成に期待しています。まず、その電顕としての性能、高速電子線の金属結晶による回折、金属の微細結晶観察への優劣などを全国の超高压電顕研究グループの協力を得て進めて行きたいと思つています。それと平行して格子欠陥の基礎的性質、より厚い試料 ($\sim \mu$) での分布を観察。マクロな材料の機械的性質を理解する有力な手がかりを得たいと思つています。

低温クリープ、降伏の問題は武内を中心に純鉄、低炭素鋼について、測定温度（液体窒素—常温）、変形速度（0.05～50）を広い範囲にわたって系統的に測定しています。その結果は両現象を含めて運動する転位の性質として現象論的には Johnston-Gillman の考え方で統一的に解釈出来ることがわかつたので、更に単結晶を用いて測定精度をあげて、解析を容易にすると共に変形に寄与する転位の数、運動速度について直接の観察に苦心中。機構を明らかにする知見の得られることを期待しています。

疲労については、上と同じ材料について、吉川を中心となつて。疲労の場合出来る格子欠陥と引張りの場合生ずる欠陥の間の違いを明らかにするため、疲労の過程で、内部摩擦、電気抵抗、炭素の析出等を測定してきました。引張りの場合との違いは明らかになつても、疲労破壊の機構に直接結びつくデータとはならなかつたので、目下は、曲げ疲労した純鉄多結晶について、電顕の直接観察により、転位密度、転位の配置の応力振巾、繰返し数に対する変化を調べています。疲労後は転位が直線的で、互いに交つたり、からみあつているものはないという特徴をとらえることが出来ましたが、疲労破壊の原因を示すようなものは発見出来ません。薄い膜を作る時の転位の再配列、消滅等を考え、転位の糊着を考えていますが、単結晶を用いての内部応力の単純化、厚い薄膜の測定の出来るのを待つています。

脆性破壊は珪素鋼単結晶について、本多が液体窒素温度で観察。破壊は引張り方向 $<001>$ では $\{112\}$ 面での双曲が $\{100\}$ で交つた時、 $<011>$ では $\{110\}$ 面での辺りが $\{100\}$ で交つた時生ずることを明らかにし、引続いて現在 MIT の Physical Metallurgy Lab. で Mn の数%入った鉄について単結晶を作り、Mn の影響を研究

中です夏には帰つて来る予定です。

以上は純鉄か単一相合金を取り扱つていますが、格子欠陥について、又それに関連して微妙な析出物の影響を調べるのを最後の目的として、Mo-Fe, W-Fe 合金における析出を吉田を中心となつて研究し始めています。特に発生初期に注目して、電気抵抗による析出のKinetics と共に直接観察による析出機構、析出相の構造の決定を行いつつあります。特に結晶方位に依存した析出相が出来ること、その大きさの調節が容易なことは、機械的性質に及ぼす微小析出物の影響を検討する上に都合のよいことを期待しています。

上のような研究には純度を調節した任意方向の大きい単結晶を数多く作ることが望されます。その必要と合せて、方向性再結晶機構を明らかにする研究が、3~4年来、田岡、古林を中心に行われています。面及び長さの方向を適当に選んだ、厚さ 0.6~1 mm, 巾 30~40 mm, 長さ 300~400 mm の鉄、珪素鉄単結晶を作製し、圧延に伴う圧延組織の変化、再結晶核の発生、成長の経路にそつて、詳細にマクロな測定、ミクロな観察を行つています。まず圧延組織を理解するため、辺り系や分解せん断応力を広い温度、変形速度で明らかにしてきました。その結果にもとづき、圧延組織は結晶方位を3つのグループに分けると比較的簡単に整理することが出来ました。一次再結晶組織は圧延組織と関連して理解出来ますがそれ等の方位関係は従来の研究結果と異なり、 $<111>$ 軸の回りの 30° 回転で殆んど統一的に理解出来ますがその機構については未解決の状態です。この機構を明らかにすることと共に、二次再結晶や固溶元素の再結晶機構への影響が今後の問題であります。

なお、現在八幡製鉄所から今村、鈴木両君、住友金属工業 KK から寺崎君が特別研究生として、私共のグループに入り研究しています。これ等の特別研究生はそれぞれの会社で決めた特定のテーマをもつてではなく、私共の研究テーマを一部担当して研究を進めています。それが自然に会社としての研究にプラスすることを期待しているわけです。

§ 4. おわりに

初めに、研究部の機構とか組織を述べましたが研究を進めて行く上では、機構とか組織にとらわれず、上記の研究担当者が中心となつて毎週連絡し合いながら、他の研究担当者の理解の上で進めています。基本方針の決定は勿論、測定技術上の問題、測定装置の製作は勿論、測定技術上の問題、測定装置の製作まで総て合議、理解の上で決定していることは大学の一つの講座内と少しも変わらないと思つています。

なお、官庁予算については額の上でも使途の上でも従来多少曲解されている点もありますが、少くとも実行予算を組む段階では研究担当者の眞面目な研究計画を、実質的に充分検討、研究者の希望にそろそろ努力を重ねています。私は研究所全体の予算配分を云々する立場にありませんが、3.8年度に限つては物理部の研究全体として進めて行く上で、支障のない額が基本設備や測定装置、消耗品のために配分されています。部内での各テーマへの配分、使用については研究計画にそつて部内研究担当者により全く自主的に決められています。予算目的に提出した計画に左右される等はありません。現在では基礎研究部に関する限り、研究所の大筋の方針に従えば、研究者自らの考え方で研究を進めて行く上での支障はないように思います。私共長く大学の研究室にいた者にとっては、多くの恵まれた点がある反面、研究環境として何となくしつくりしないものを感じられるのも事実でしょう。しかしこの多くは物質的環境でなく歴史的や精神的なものが多く、研究者自身の考え方では正出来る部分を多分に含んでいるように思います。この環境の是正のため私共も努力していますが、よりよい研究環境を作るため、熱意ある多数の研究者が、私共のグループに入られたり、同じ研究テーマをもつ方が共同研究者として、私共に協力、金属物理部を育成下さることを切に望んでいます。

研究会報告

「格子振動と強誘電性」研究会

中村輝太郎, 星埜 楓男

本研究会は、昭和38年2月4日5日の両日に開かれた。

最近、強誘電性の問題が、格子振動という角度から見直されて、活発な議論が展開され、実験的、理論的に多くの研究が行なわれはじめてきた。このときにあたり、この問題を充分討議し、研究の現状の認識と、将来の方針の確立に資したいというのが本研究会のねらいであつた。

最初の世話を人たちの意図では、かなり話題を focus して、せまい範囲に興味をもつ人たちを対象とした、小さい研究会を考えていたが、いざ蓋をあけてみると、この問題に興味をもつ研究者の数は意外に多いと見て、朋有り遠方より集り来つて、立錐の余地ない盛況であつた。

赤外、遠赤外の実験データおよびその解釈に、現在かなり重要な問題が残されていることが認識され、中性子線、X線、その他の方法による新しい研究方法の問題が討議され、また、理論の展開と活発な討論が行われたことは、予期以上に有益であつた。低温における強誘電性、圧電半導体、強誘電体の morphic effect などの問題についても討議された。

プログラムはつきのとおりである。

第1日

- (1) Introductory Talk 高橋 秀俊(東大理)
- (2) 格子振動について 山下 次郎(東大物性研)
- (3) 強誘電体の格子振動 木名瀬 宜(早大理工)
- (4) 格子振動と強誘電性 三井 利夫(北大理)
- (5) 赤外吸収について 三石 明善, 吉永 弘(阪大工)
- (6) 強誘電体の赤外吸収 池上 清治(松下電器)

第2日

- (1) 結晶の熱振動と回折 三宅 静雄(東大物性研)
- (2) 強誘電体における中性子非弾性散乱と格子振動 高木 豊(原子力研)
- (3) 低温における強誘電性 沢口 悅郎(ソニー研)
- (4) 強誘電性と morphic effect 丸竹 正一(小林理研)
- (5) 圧電半導体 小川智哉(理研)

以下順を追つて、これらの概要を述べる。

第1日

(1) Introductory Talk

高橋(東大理)は本研究会で討議されるテーマについて、その問題点を指摘した。まず格子振動の基礎について説明し、transverse optical mode と longitudinal optical mode との区別は、 $\vec{k} \rightarrow 0$ の局限ではあいまいなものとなるが、両者の差は、 $\text{div } P$ が 0 であるかどうかにあることを注意した。つぎに、分散式の効用についてのべ、sum rule の成立することの重要性を強調した。

さらに、誘電率の温度依存性に関し、alkali halide などで $d\epsilon/dT > 0$ となるのは、誘電率に格子の熱振動が主として寄与しているが TiO_2 や強誘電体で $d\epsilon/dT < 0$ となるのは、イオンの変位に対する anharmonicity が重大な役割をなしていることを注意し、強誘電体における格子振動を論ずるには、この non-linearity を考慮しなければならないことを述べた。低温での強誘電性と格子振動については、低温では急激に phonon が消失し、しかも零点振動が残るが、これらの問題について研究することは興味あることであろうと suggest した。最後に、格子振動の研究のためには、X線、中性子線、NMR、ESRなどの手段があるが、これらの手段による研究がなされることが望ましいという希望を述べた。

(2) 格子振動について

山下(物性研)は、かつて、alkali halide の誘電的性質と格子振動のふるまいを、ionic crystal として論じ成功をおさめたので、同じ立場で BaTiO_3 の問題を取扱

おうとしたが、1つには当時 computer が available でなかつたことと、他には、多分 BaTiO₃ の結合の ionicity からのずれのために、その研究を中止した経緯を述べ、その後の木名瀬、Triebwasser らの仕事からみると、effective charge を導入してイオン結晶として取扱うことでよいように見えると述べた。最後に Cochran の格子振動と強誘電性の理論では、Ba の格子のワクの中で酸素の octahedron が動くと考えているようだが、これは理解しがたいという見解を発表した。

effective charge を導入してイオン結晶としてとりあつかう立場については、出席者からいろいろ議論がでた。たとえば、Ti と O との間の共有結合性について、積極的に attack することが要望されたりした。

(3) 強誘電性と格子振動

木名瀬（早大）は、木名瀬自身が以前に発表した理論の basis に立つて BaTiO₃ の格子振動の問題をとりあつかつたチエコの Janovec の理論の誤謬を指摘し、正しい式を示した。Janovec の計算の結果をみれば、その誤つていることは明らかであるが、木名瀬は、Janovec が、イオン間のおよぼしあり力が作用反作用の法則をみたしていない点を指摘し、それを入れた正しい式を導びいた。すべてのイオンに一定の factor をかけて effective charge を表わし、これをパラメーターとして 0 から 1 まで変化させて、固有値問題を解こうとしていることを述べた。effective charge の問題と、電荷の比例配分の問題、化学結合の問題については将来解明しなければならない。振動モードのうち stretching (Ti が上にずれると、その上の O が下にずれる) と bending (Ti が上にずれるとその上の O が上にずれる) のいずれの共振周波数が高いかは、X 線、中性子線の結果の ion-shift の値とからんで重要な問題だが、結論は保留された。

石橋（東大）は立つて、木名瀬のいま述べた方法で固有値問題を解くことを computer で実行した結果を、グラフを用いて示した。それによると bending のモードの周波数が最も低く、かつこのモードは effective charge ratio が c.a. 0.2 を越えると不安定になることを強調した。

(4) 格子振動と強誘電性

三井(北大)は、 BaTiO_3 の強誘電性を、格子振動の様子のX線回折法による精密な測定により研究するために、Cubic phaseでの実験を行なつて現状につき説明した。まず、 BaTiO_3 のCurie点から 700°C 附近までのX線回折の精密測定をBragg反射の積分強度、回折線の幅の変化を中心に行なつた結果につき報告した。今までに Curie 点附近では optical branch の振幅が増大するため、Ti の温度因子が増大し(422)反射強度が 180°C 附近で極大を示すことなどが見出されているが、このような実験は、回折強度に対する消衰効果の問題、温度散漫散乱と Bragg 反射との分離の問題など、基本的にも又実験技術的に多くの困難があるが、これらの点について意見の交換が行なわれた。

(5) 赤外吸収について

三石、吉永(阪工大)は、赤外吸収の基礎的なことがらを、その豊富な実験経験と照らして解説した。まず、赤外吸収に関与する現象は、(a)格子振動、(b)バンド間遷移、(c)free carrier、(d)不純物単位、であることを述べ、測定については、高温測定 200°C 以上は、検出器の関係でむずかしい。長波長側では強度が λ^{-4} でおちるので、短波長側の強い吸収によるゴーストが現われることがあること、sample preparation については、透過法では、ごく薄い結晶が必要(例えば NaCl の 61.1μ の吸収には 0.1μ の厚さ)なので、粉末、蒸着膜、反射率測定などが用いられるが、粉末の場合には、特別の透過や、散乱の効果などがあつて、スペクトルの shift がおこるから、結果の解釈には慎重を要するなどの注意を与えた。

(6) 強誘電体の赤外吸収

池上(松下電器)は、 BaTiO_3 、 SrTiO_3 の、これまでの実験結果の review と、彼自身の実験結果、および見解を述べた。

Last の c.a. 500cm^{-1} (20μ) の吸収の存在は確実だが、同じ Last の出した 400cm^{-1} (25μ) のものは、Spitzer らによつて粉末法を用いたための scattering effect としてしりぞけられたが、池上が蒸着膜についてしらべると、やはりこの吸収がみられるので、Spitzer らの解釈には疑問があると述べた。さらに、Spitzer らの 30

cm^{-1} (330μ)あたりの broad な吸収にも検討の要があるとの意見を出した。 200cm^{-1} (50μ) 附近のものは、池上と Spitzer の結果は一致する。Raman の測定も行い、 830 , 740 , 210cm^{-1} にピークが見出されているが、実験上の困難もあり、まだ決定的なことは云えない。

SrTiO_3 では、赤外吸収の data はよく整理されており、neutron の inelastic scattering により ω^2 の温度依存性が Curie-Weiss の法則にありことがたしかめられたと述べた。

出席者から、 200cm^{-1} (50μ) 近傍の小さい吸収は、それが小さいことと、曲線の形が異常であることから、optically inactive な mode が何らかの原因で active になつたものではないかなどの意見が出た。

第 2 日

(1) 結晶の熱振動と回折

三宅(物性研)は、回折結晶学の方法による結晶の熱振動の研究についての詳しい解説を行なつた。格子振動の X 線電子線回折強度への影響については、古くから理論的にも実験的にも多くの研究がなされているが、近年この方面的技術的進歩は、かなり精密な測定と結果の解析を可能にしている。特に Bragg 反射強度への影響ばかりでなく、いわゆる温度散漫散乱の解析により、格子の基準振動の模様をある程度推論することができる。しかし、最近になつて、中性子回折法の進歩により、これらの様子はさらに定量的に求められるようになつた。すなわち、熱中性子のエネルギーは、X 線量子のそれよりかなり低く、 kT の order すなわち、熱振動のエネルギーと同程度であるために、温度散乱は、非弾性的となり、このエネルギー分析などにより、各基準振動について分散関係を調べることが容易となる。

このように、回折の方法は、結晶熱振動の研究に有力な情報を提供するものであるが、実際問題として、逆格子空間全域にわたつての精密測定を行なうことは大変なことであり、特に中性子回折の場合は実験上の多くの制約のために部分的な測定のみを行なうことすら容易ではない。これらの諸点につき見解が述べられ、質疑が行なわれた。

(2) 強誘電体における中性子非弾性散乱と格子振動

高木(原研)は、格子振動による中性子の非弾性散乱の解析について、まず、理論と実験の原理的な解説を行なつたのち、 Fe などの金属、アルカリハライドなどのイオン結晶についての研究を紹介し、さらに最近行なわれたCowleyによる SrTiO_3 の格子振動の研究を紹介した。強誘電性の研究に対して、低い振動数の光学的振動が重要であることが言われているが、Cowleyは SrTiO_3 の最低振動数のtransverse optical branchについて、室温と 90°K における中性子非弾性散乱の測定を行なつた。その結果、この振動のモードに対する振動数一波数($\nu - q$)分散関係が明らかにされたが、Cochranの理論が出て以来注目され始めたこのような研究が、他の多くの強誘電体についても(特に ϵ の変化の大きいCurie点直上での解析などが)がなされることが望まれる。

(3) 低温における強誘電性

沢口(ソニー研)は、 SrTiO_3 では、 SrTiO_3 では、低温になると、 ϵ の増加の仕方がCurie-Weissの測定よりも鈍くなるが、Slaterの BaTiO_3 の理論に量子効果を入れて低温に拡張したBarrettの式は、このようすを大体説明はするが、なお実験値とのずれが目立つ。Barrettの式に熱膨脹の影響を入れると改善できそうだと述べた。また、 KTaO_3 は 13°K 以下でferroelectricとなるが、誘電率は 13°K 附近で緩やかに変り、また、Curie点前後における $d\epsilon/dT$ の比は一次転移の場合と異なることなど見出だしたが、まだよく説明されていないと結んだ。

(4) 強誘電性相 morphic effect

丸竹(小林理研)は、(a) NaNO_2 の圧電効果は、電歪理論から導かれないか? (b)プロピオノ酸カルシウムストロンチウムの複屈折は、(自発分極) 2 に比例しなければならないか? (c)電界によつて旋光能が変化する現象は存在するか? などの疑問を提出し、分極を $P = P_1 + P_2$ として現象論的に論ずる一つの試みを提出し、また、電界を加えたとき旋光能は変化すべきであるかを結晶の各対称性につき分類し、強誘電相における旋光性の可能性を論じた。

(5) 圧電半導体

小川(理研)は、半導体ピエゾをもつもののうち、zinc blende およびwurtzite構造のものについて、最近の話題を解説した。ZnSでは、Zn, Sは、純ionicのときと異なるeffective charge をもつが、その決定法を述べた。また、ZnS 単結晶などにみられる異常光電効果について実験の結果を披露した。最後に、このような物質に電流を流しながら超音波を送ると、電流に bunching を生じ、それによる変形と、入力超音波の相互作用についていわゆる超音波増幅ができる話をした。

各講師の大変格調の高い話は、現在の強誘電性と格子振動についての問題点をえぐり出し、きわめて活発な討論を誘発し、時間も充分にあつて、意をつくして討論できたことは、学会では望めぬ多大の収穫をもたらした。これを機会に、このテーマについての研究が一段と発展することを期待している。

本稿は、通研池田拓郎氏、早大木名瀬亘氏に、分担して話の概要をまとめたものを書いていただき、それに中村が手を加えて書きなおし、さらに、星埜の執筆した部分を附加したものである。池田氏、木名瀬氏に、厚く感謝の意を表する。

「半金属の物性」研究会

田 沼 静 一

物性研だより2巻5号(1962年12月号)に予告した「半金属の物性」研究会が、本年1月31日から2月2日までの3日間開かれた。半金属というのは限界のはつきりしない名称であるが、Wilson の著書Theory of Metals 以前から使われている古い言葉である。ともかく金属のうちでFermi Energy の非常に小さいもの、すなわちcarrierの濃度が非常に小さいものを言っている。carrierの濃度が小さいため電気的性質は金属よりも半導体に似ている点も多い。半金属はそのような“ぬえ”的様相をもつたものであるが、

Fermi Energy を小さくしているのとおそらく同じ原因が、ある場合には非常に軽い有効質量を与えているらしい。また異方性のある結晶構造のための電子帯構造も非常に異方的であることが多いし、フェルミ面が楕円体ではあらわされない奇妙な形のものも存在するようである。それらの特異で極限的な性質を利用して電子帯構造をしらべるためや、そこにある carrier の振舞を研究するために、そのような物質の群を半金属という名前で総称し、それについての知識をまとめてみた上で、これからどの方向へ進んだらよいかを考えようというのがこの研究会の目指すところであつた。ただ短時日で多くを尽すことは出来ないので、代表的な半金属、ビスマスに重点をおき、アンチモン、グラファイト、その他化合物半金属や縮退半導体の問題も加え、これらの方面の現状の認識や整理を行うことを眼目とした。talk の題目と speaker は以下のとくであつた。

- グラファイトの電子構造 (植村泰忠、井上正晴)
- グラファイトの輸送現象 (杉原 硬)
- ビスマスとアンチモンの電子構造についての諸種の実験的研究 (田沼静一)
- ビスマス合金及びアンチモンのドハース・ソフアルフ・エフ効果 (齊藤好民)
- ビスマス及び稀薄合金の電気的性質 (森本 武)
- ビスマスにおける電流磁気効果 (間瀬正一)
- ビスマスの縦磁気抵抗とサイズ効果 (田中邦秀)
- ビスマスの電流磁気効果 (鈴木 満)
- ビスマスにおける電子と孔の再結合 (三宅 哲)
- 半金属としての磁性化合物 (平原栄治、朝鍋静生)
- $\text{Ag}_2(\text{SeS})$ の物性 (宮谷信也)
- n-PbTe の Azbel-Kaner サイクロトロン共鳴 (二井理郎)
- 縮退半導体のイオン化不純物散乱 (PbTe の低温における易動度に関して)
(生源寺希三郎)
- heavily doped germanium の異常磁気抵抗効果 (古川吉孝)
- 高不純物濃度半導体の基礎吸収 (棟居誠爾)

この他ビスマスに関する、またグラファイトに関する全般討論の時間には、以上のほか多くの出席者の発言があつた。出席者は予想より多く約 60 名に上り、半導体や金属の研究者の少な

くない人口がこの方面に関心をいだいているように見受けられた。

金属や半導体の研究には古くから、電気抵抗や電流磁気効果、熱起電力などの定常直流測定が多く用いられている。わが国の半金属研究の場合も例外でない。上記プログラムにみられるように電流磁気効果を実験手段としているのが大部分である。しかし米国では最近半金属には、半導体研究においてオーソドックスな方法になつたサイクロトロン共鳴その他の dynamic 電測定手段、すなわち他に、赤外吸収、超音波吸収、ESR、異常表皮効果などが大いに適用されつつあり、電流磁気効果は、結果の解析につねに散乱機構に関する知識の要求がついてまわるため、むしろいつも必要なわき役になつてゆきつつある。そこでもしこのような研究会が開かれる場が米国であつたら、上記の talk の題目はだいぶ違つた色彩のものになつたであろうと想像される。単に彼地を追随するという意味でなく、半金属の研究にはより多くの dynamic な測定法による elementary process の観測が必要になり、我国の現在以後の方向も必然的にそちらに向いてゆくであろうと思われるが、プログラムを見ての、また研究会を終えての、一つの感想であつた。

純粹な半金属では、一般的 carrier の数は非常に少しが、heavily doped の結晶半導体とちがい、電子と孔は同一存在しなければならない。そのため Hall field が carrier 濃度のわりには小さく、代りに magnetoresistance が非常に大きい。またぐくべき carrier の注入をしなくてとも、もともと電子と孔が同数存在するため固体内部動力学的挙動を見ることが容易である。energy bands の overlap が小さいので電子も孔も帶縁に近いものであり、spin-orbit coupling などの影響をうけ易く、多くの場合異方的なこととあいまつて非常に小さい有効質量をもちうる。ことえびビスマスの電子の二回軸方向の質量は自由電子質量の 0.01 倍であり、アンチモンには 0.005 倍のものがあるらしいと報告されている。そこで $\omega\tau = \mu H > 1$ で成立。(4.2°K のビスマスでは $H > 100$ G で成立)。このように磁場 H 対して sensitive な導体は他にない。これらの興味から最近かなり多種の実験がなされている。特にビスマスについて多い。ビスマス (とアンチモン) についての主として電子構造に関する survey が行われた。先駆的業績は 1930 年代の Shoenberg のドバース・ファンアルフエン効果の測定から、ビスマスの電子フェルミ面を橢円面近似を用いて決定した研究である。x 軸を二回軸、z 軸を三回軸として電子エネルギー面に対する $E_e = \frac{\hbar^2}{2m_0} (\alpha_1 k_x^2 + \alpha_2 k_y^2 + \alpha_3 k_z^2 + 2\alpha_4 k_y k_z)$ の形は現在でも第一近似として変更されていない。 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$

a_4 は, Shoenberg の値はそれぞれ 420, 0.8, 40, 4 であつたが, 現在もつとも正しいと考えられる Galt らのサイクロトロン共鳴から決定された値は 114, 1.39, 108, 9.47 である。また孔については, k_z 軸を回転軸とする回転楕円面 $E_k = \hbar^2 / 2m_0$ $[\beta_1 (k_x^2 + k_y^2) + \beta_3 k_z^2]$ で近似され, Galt らにより β_1, β_3 はそれぞれ 14.7, 1.07 と定められている。これらの a_1, \dots, β_3 に対しては他のサイクロトロン共鳴の研究, 异常表皮効果, 超音波共鳴, その他の実験からえられた値も上記の Galt らの値と大差はない。これらのフェルミ面の形は間瀬のビスマス型結晶の電子構造の計算結果と少くも定性的によく一致し, またブリルアン区域内での電子と孔のフェルミ面の位置は間瀬の指摘する位置附近であろうことが通説となつてゐる。上記電子フェルミ面の形と結晶対称性からすれば, 電子楕円面は k_z 軸からみて 120° 対称に 3 個または 6 個存在し, 孔は k_z 軸上に 1 個または 2 個存在しなければならない。3 個か 6 個か, また 1 個か 2 個かはフェルミ面の中心が k 空間の高度の対称点にあるか, それから外れているかによることで, 現在未確定であるが, 最近の Jain らのスペキュレーションは電子の面 3 個, 孔の面 1 個が正しく, フェルミエネルギー $E_e = 0.022\text{ eV}$, $E_k = 0.012\text{ eV}$, 0°K で carrier 数は $n_e = n_h = 3.9 \times 10^{17} / \text{cc}$ であるとしている。しかし六楕円面説その他の異説もあり, なお詳しい実験的研究を要することである。電子構造についてのもう一つの問題点はもつと重い質量の孔がもう一種類あるのではないかという疑問である。Lerner や田沼らのドハース・シユブニコフ効果, Philips の電子比熱の実験などにそれがあらわれているが, 一方その存在を否定する研究も多い。これら未解決の事柄と関連するはずのものかどうか分らないが, シカゴ大学の Cohen のビスマスについての non-ellipsoidal model の提唱がある。ドハース・ファン・アルフェン効果等において, 楕円面近似が充分正しくはないとの立証となる evidence が多い。いろいろあらわれているが, まだ Shoenberg の楕円面をどのように, またどの程度に non-ellipsoidal に補正すべきか, 詳かでなく, 今後の問題である。

アンチモンについては, フェルミ面の問題はビスマスほどにも煮つまり方が足りない。しかしどく最近カナダの Datars のサイクロトロン共鳴などの研究により急速にビスマスの域にせまろうとしている。ビスマスは前記 a_1, \dots, β_3 の値から分るように, 電子の平均質量が孔のそれより軽いから, 電子と孔は同数個でも, ホール効果や熱起電力は n -型となる。これは consistent なことである。アンチモンはホール効果や熱起電力において p -型で

あることはよく知られているが, Freedman らは電子と孔に各々一種類ずつの情円面を仮定して電流磁気効果の解釈を行い, 当然電子より軽い孔の質量パラメーターの比を得た。

Shoenberg の得たアンチモンのドハース振動はその孔によるものであろうと推量した。ところが Datars はサイクロトロン共鳴よりビスマスの電子情円面と同じ形のエネルギー一面に對し, a_1, a_2, a_3, a_4 をそれぞれ $0.050, 1.03, 0.53, 0.67$ と得, Shoenberg の得た値 $0.050, 1.00, 0.52, 0.65$ ときわめてよい一致を見たが, マイクロ波の偏光を用いてこの carrier の荷電を決定したところ, それが孔でなく電子であるということを知つた。この電子と, より重い孔とからどうしてホール効果等の正符号が出るかが問題である。更に最近, 別に非常に軽い孔があるらしいことが分つて來, 上記の困難は一応解消する可能性が出て来たが, 詳しいことは今後の研究にまたねばならない。同時に Bi-Sb 合金の成分比推移につれて電子構造がどう變つてゆくかは興味ある問題である。

間瀬は格子散乱の優越する低温度として 20°K を選びビスマスの電流磁気効果テンソルを測定し, Galt らの質量パラメーターでその結果がよく説明出来ることを述べた。問題の重い第二の孔については電子数の $1/1000$ 以下しかありえない, つまり重い孔はないであろうことを推論した。これは Jain らの主張と共に重い孔の存在を否定する有力な二主張である。齊藤はドハース効果を高感度で測つて 1.2°K では今までみられていないかつ孔の振動を見出した。また彼はアンチモンのドハース効果で新しい振動を観測し三 ellipsoids のフェルミ面をもつとした。これは間瀬によれば Ketterson が超音波減衰で見出した non-ellipsoidal なドハース型振動とおそらく同じものであるという。フェルミ面の形については未解決であるが, これはアンチモンの主な孔を与えるものであろう。森本は純ビスマスおよび Te, Sn, Pb を少量固溶した合金多結晶の熱起電力などを液体窒素と常温の間で測定した。とくに 0.2% Sn 添加のものには電子は存在しないと近似的に考えて解析し, data と fit させるには軽, 重二種の孔の存在を考えるのが妥当であると主張した。ここにあらわれうる重い孔は, k 空間で電子帶と同じ場所にわずかに (0.04eV 位) 沈んでいる充満帶に, n を加えて電子を引き去つたため生じた孔である可能性はないだろうか。なお, 細かい結晶粒の多結晶試料のデータを等方的な近似式で解析する限界について多くの人の注意があつた。田中はビスマスの縦磁気抵抗の著しい負の効果と, その大きさの試料寸法依存性を見出した。これは Steele らが先にアンチモンについて見出したものと定性的にひそしいが, 新にサイズ効果を見出した点がことなる。その解釈にはまだ納得できるものが無い。ビスマスの横磁気抵

抗は非常に大きい正の効果なので、定量的データのため縦効果の電流と磁場の正確な平行性を実験的に得ることはかなりむずかしい。しかしサイズ依存性のある負の効果の存在は疑われないし、興味ある現象である。鈴木は純ビスマス及びSnを添加したビスマスのホール効果をヘリウム温度以上で測定した。純ビスマスのホール効果は77°Kでも4.2°Kでも磁場強度によらず負で、間頗らのごとく磁場が三回軸、電流が二回軸の場合低磁場で正、高磁場で負と反転するようなことは見られなかつた。これは多分純度の問題であろう。Snを添加したビスマスのホール効果は低磁場で負、高磁場で正と符号逆転がみられた。これは易動度の大きい電子の数より易動度の小さい孔の数が少し多いときに期待出来ることである。田沼らは三回軸に平行な磁場でのドハース・シュブニコフ振動を9万ガウスまでの強磁場で測定し、单一の振動が高磁場の山で二つに分れていることを見た。これはKunzlerらが磁場を二回軸方向にかけた単結晶比熱の磁場強度による振動で見出した spin splitting と同性質のものであろうと考えた。ただし、たまたま三回軸方向からみた電子と孔の質量は非常に近いので、spin splitting ではなく、二つの carriers の振動の重なりである可能性もあり、未決定である。三宅は江崎によつて見出された横磁場中の電流・電圧特性の折れまがり——これは江崎によつて、電子と孔が電界、磁界に垂直な同方向へ駆動される速さが音速を越える時にフォノンを生み、carriers は電界方向へ散乱される現象と解釈された一の理論的な批判上基礎づけ、および定常状態では電子と孔の同一方向への駆動で再結合が生じなければならないが、そのメカニズムが電子一フォノンによるものか、電子一電子によるものか、電子一不純物によるものかの評価を行つた。ビスマスについて全般討論による問題点の列挙を記す。(1)ドハース・ファンアルフエンには電子の周期がかかりやすく、ドハース・シュブニコフには孔の周期がかかりやすいように見えるのはどんな意味があるか。(2)第三の重いcarrier らしい短周期をいかに解釈するか。(3)non-ellipsodial な性質の実験的アタック。(4)不純物原子の影響(たんにcarrier の増減のみでなく)。(5)量子限界以上の強磁場での伝導現象の観測。(6)非振動的な大きな反磁性帯磁率の意味など。

グラファイトはビスマスとはちがつた異方性をもつた半金属である。電子構造について植村、井上のSurvey があつた。グラファイトの層構造の層内の蜂の巣状の二次元格子からは、 π 電子の充满帶と空の帶がちょうど接しているような特別の電子構造を示すはずである。spin-orbit coupling を考慮すると接点が分離し gap が出来ると考えられる。層間のinteractionを入れると半金属的にエネルギーの overlap が生ずるが、フエルミ面の形

はおよそ楕円面とは遠く、非常に奇妙な凹凸の曲率をもつ。植村によればビスマスはエネルギー一帯に楕円面近似がほぼ成立つという点ではゲルマニウムなどの半導体の歪流であり、non-ellipsoidal なエネルギー一面の carrier の研究にはグラファイトこそ最も適している。残念なことにグラファイトの非常に純粹な、あるいは不純物制御をした単結晶資料を人工的につくることは現在はまだ困難で、理論的計算に比べ、実験研究がおくれている唯一の理由となつてゐる。杉原は純グラファイト単結晶のホール効果と磁気抵抗の温度依存性、磁場依存性のデータより、エネルギー一帯構造のモデルに対し、重疊エネルギー、フェルミエネルギーなどの値を評価すること、格子振動と電子の coupling constant や散乱緩和時間を評価することを試みた。

平原、朝鍋は金属間化合物 CoSi の Co を Fe で置換した $\text{Co}_x\text{Fe}_{1-x}\text{Si}$ で x を $0.6 \sim 1.0$ の間で変えた固溶体の系の電気抵抗、ホール効果、熱起電力を測定した。この系はエネルギー overlap が $x=1$ で 0.003eV , $x=0.9$ で 0.15eV と変化するよりな半金属であると考え、 Co を Fe でおきかえると電子が減少してゆき、孔と電子の濃度差は x に比例して増すが、overlap もふえるため電子と孔のフェルミエネルギーは x に対し単調でない変化をして、実験結果をきれいに説明することが出来た。遷移金属の関係する半金属的物質として興味深い。宮谷は $\text{Ag}_2\text{Se}_x\text{S}_{1-x}$ の化合物固溶体の系で、 x が 1 に近い側は半金属、 x が 0 に近い側は半導体であり両者共温度を上げると金属になることを見、この系の x と温度による半金属、半導体、金属の相の境界を定めた。なお電子易動度は半金属相が最も大きい。

最後に厳密にいえば半金属といふグループとは少しがらうかもしけないが縮退した状態の半導体の性質についてコメントがあつた。二井は n 型 PbTe につきアズベル・カーナー型（金属型）サイクロトロン共鳴の観測結果を紹介した。製作した n - PbTe 単結晶はフェルミエネルギー 0.024eV 縮退温度 281°K のものである。磁場を $<010>$ から $<100>$ へまわした時及び $<010>$ から $<110>$ へまわした時の質量比の変化を量的に得たが、質量比としていくつかのモードを得ており、その解釈の一義性が現段階では得られていないので確然としたことはいえないが、電子帶の形は今までいわれていたよう p - PbTe と同様の $<111>$ プロレートな楕円面ではないかもしだい。興味ある結果で詳しい data がまたれる。生源寺は不純物を多く添加して carrier を縮退させた PbTe のような半導体で、低温で非常に大きい易動度がえられる理由について考察した。古川は高濃度に不純物を添加した n 型及び p 型ゲルマニウムの磁気抵抗を測定し、 n - 型では負効果が生じ、 p 型では正の効果しか生じ

ないことを見た。その解釈のために、たとえば n 型ゲルマニウムにおける豊沢の理論——これは一種の散乱機構の磁場依存性を論ずるものであるが——と別に、不純物準位（バンド）にある carrier の磁場による population の変化を考えることがなお検討に値するのではないかとの意見をのべた。carrier が縮退する位に不純物を多く添加したゲルマニウムの伝導帶または充満帶の縁は多数の不純物原子の不規則配置によつてどのような影響をうけているかは興味ある問題である。棟居は赤外吸収端の構造と不純物添加の関係を観測しており、その最近えられはじめた結果を紹介した。Sn を $10^{19} \sim 10^{20}$ /cc 添加したもののが吸収端は 0.02 eV 位長波長側へずれる。As, Sb 添加のものも長波長側へずれるが、As と Sb では同量添加しても吸収端の形が同一ではない。アクセプターを添加したものは吸収端は短波長側へずれる。これは縮退した充満帶のフェルミ準位がアクセプター添加量を増すと低く下つてゆくせいだとのことである。

世話人は植村泰忠、小林秋男、渋谷元一、金井康夫、川村肇、田沼静一であつた。

「金属磁性薄膜」研究会 (I)

世話人 辰本 英二、近角 聰信

昨年に引きつづき、第2回の金属磁性薄膜の研究会を 1月 28, 29, 30 日の 3 日間に亘り開催した。その主な話題は

	午 前	午 後
1月 28 日	磁気構造	磁気異方性
1月 29 日	薄膜内の応力	各種の薄膜、パネル討論
1月 30 日	高速磁化反転	スピノ波共鳴、相談会

に分類される。特に今年は第2日に磁性薄膜の分野以外で研究されている、薄膜内の内部応力の測定、エピタキシーなどの話題も加えて、有意義であつた。なお、来年以後はこのような総花的な会合はやめて、個々の現象に重点をおいて異なる角度から討論することを打合せた。講演の概要は以下の通りである。

磁区構造

パーマロイ薄膜の磁区構造

電試永田町 塚原 園子，長島 富雄

最近Bitter法の他に種々の有力な磁区観察法が可能になって来た。これは大別して磁壁そのものがみえるか、磁化方向によつて濃淡の磁区がみえるかの二つに分けられる。それぞれに長短があるから磁区磁壁構造を決めるにはこれらを併用しなければならない。一方薄膜は二次元的な形状に基づく興味の他に表面と内部が同一構造をとるため bulk に比して単純である点で観察対象として意味がある。ここでは磁場中蒸着多結晶 80% Ni 膜を、主として Bitter 法で、0.01~3mm 厚さの板から化学研磨によつて作つた 60~100% Ni の組成範囲の薄膜を透過電子顕微鏡法によつて観察した結果を報告する。

1. 円形蒸着膜の磁区配列・膜の容易軸に対して平行および垂直な磁化よりの残留磁化および消磁の四つの磁化状態で観測した。膜全体の磁区配列は予想とほぼ一致する。200Å以下 の薄い膜では特徴のある複雑な配列を示す。2000Å以上の膜の磁区配列は bulk にみられるものに一見似ているが細部は異なつている。

2. 磁壁構造 200Å以下の膜では Néel 型の磁壁及び解析のむずかしい独特な磁壁がみられる。厚さが増すとともに Néel 型と Block 磁壁とが種々の mode で交代する。厚さ 2000Å以上では Block 磁壁のみがみられるが、同じ Block 磁壁のコントラストがごく厚いところでは減少する。これは構造的な変化に基づくものかも知れない。磁壁は磁化状態の影響も受ける。困難方向からの残留状態でのみ、Néel 型磁壁と Block 磁壁とが数十μm を達する長周期で交代する磁壁が生ずる。このような長周期の交代は energy を下げるという点では利点がないからこの型は準安定な状態といえる。交流消磁をすると安定状態になるのでこの型は存在しにくい。

通常、二つの異なる磁化領域の境界を磁壁と呼ぶが、枝分れした磁壁、cross-tie の tie、ripple なども本質的には Néel 型の磁壁の一種といえよう。

3. bulk から化学研磨により作つた膜の磁区構造・試料は電顕視野内では単結晶とみなされ蒸着膜におけるより完全な結晶であると考えられるが厚さの不均一は避けられない。多結晶蒸着膜にみられるような Néel 型磁壁、Block 磁壁および両者の交代型などが一つの結晶内で観察されたが細部は異つている。特に Kc の小さい組成範囲では結晶方位とはほとんど

無関係に closure domain が観察された。これは $K=0$ の材料の磁区構造として予想されていたことの一つの実証である。さらに、微細かつ周期的な磁化に対応する ripple が K_c の小さい 75 % 附近の組成の膜で顕著にみえた。これは蒸着膜の場合と全く逆である。蒸着膜においては微細な結晶の K_c が ripple の原因と考えられているので、単結晶内に ripple が観察されたことは特筆に値する。純 magnetic な原因以外に super lattice Ni_3Fe に関係しているかも知れない。規則格子生成熱処理を行い、 K_c の変化との対応性をしらべる必要がある。

電子顕微鏡による磁区構造の観察

早大理工 市ノ川 竹男

1. まえがき

電子顕微鏡による磁区観察は次の点で優れている。(I) 分解能がよいために細かい磁化方向の fluctuation が観察できる。(II) 速い速度の磁化の変化を観察できる。(III) 磁区の磁化方向、磁化の大きさ等が分る。(IV) 電子回折と直接結びついて結晶学的な性質と結びつけ易い。(V) 結晶の不完全性 (dislocation, stacking faults 等) との関連がつく。(VI) 真空中で、同時に薄膜の磁気的特性がとれる。等がある。

2. 装置上の注意

電子顕微鏡で高分解能の磁区構造を観察するためには、対物レンズによる Stray field をなるべく小さくするために、非対称レンズを使用した方がよく、特に照射系は分解能をきめる重要な因子となるので、 10^{-4} 以下の平行度にしたい。そのためには、Point filament を用いた Double condenser をもつ照射系がのぞましい。

3. 第5回国際電顕学会でのこの分野の論文の紹介

電子顕微鏡で磁区構造を観察することは世界各国で行われているが、その中で蒸着膜についての switching, dispersion, domain structure 等を観察した Spain と Puchalska (仏), Wade (英), およびコバルトの電解研磨した薄膜についての格子欠陥と磁壁との関係を示した Silcox (英) 等の論文を紹介した。

4. 我々の実験結果

ガラスおよびガラスにcollosionをはつた下地に蒸着した薄膜の特性は殆んど変化は認められなかつた。下地温度によつては磁気特性も変化し、電子顕微鏡でみられるripple (disparsian)も変化する。下地温度が300°C以上では両特性は悪化していく。電子顕微鏡でみられるrippleと磁化特性との関係を定性的に説明した。なお、Ni単結晶蒸着膜の消磁方向によるdomain構造の変化の模様を写真で示した。

細線の磁区構造と technical magnetization

広島大工 桑原改造

細線の磁区構造については、Kittelの薄膜の磁区構造に関する理論および蛇名・津屋両氏の細線の磁区構造に関する理論によつて、二三のモデルが提出されている。我々はガラス基板の前面に適当な巾(1000~10μ)のスリットを有するマスクを置いて蒸着することによつて、80Ni-20Feの細線(厚さ1000Å~300Å)を作りその磁区構造や磁化過程における磁区変化の模様をBitter法やΔR効果で観測している。

現在までに観測された磁区構造はすでに提出されているモデルと非常によく一致している。例えは線に直角に容易方向を持つ細線では、異方性が小さい場合には両側に直角三角形の還流磁区、中央部に龜の甲型の主磁区ができ、異方性の大きい場合には還流磁区がなく磁壁は互に平行な180°磁壁のみで構成される。

龜の甲型の場合には全エネルギーは磁壁エネルギーと異方性エネルギーとの総和で、これを極小にするように主磁区の巾が定まる。異方性エネルギーと線巾、磁区巾との実測値から磁壁エネルギーは約0.6erg/cm²と求められた。なおこの値は膜厚に対してあまり変化しない。平行線状磁壁は異方性エネルギーが 2×10^4 erg/cm²より大きい場合に観察されるが、このときのエネルギーはKittelの薄膜についての計算よりも、細線の幾何学的特性から反磁界係数の小さいことが原因で、はるかに下る。この間の関係について考察した。

さらに磁化過程における磁区構造の観察とΔR効果の測定から、磁区変化の模様を調べ、その解釈を試みている。

Fe-Ni 電着薄膜の磁区構造

東北大学電気通信研究所 海 沼 清 三

我々はこれまで Fe-Ni 電着薄膜についての静特性および動特性等について研究してきた。(これらについての総合的報告は後日なされると思う*) ここで報告する磁区の観察もこれらの研究の一環として行つたものである。最初は、電着薄膜の磁区構造を蒸着薄膜のそれと比較するということを目的としていたわけであるが、Bitter 法による磁区そのものの観察が非常に困難であつたので、この目的を十分達することは出来なかつたが、この電着薄膜の内部 stress に関する知見を得たことは収穫であつた。

薄膜を電着する基板は、 6×33.3 mm の短冊形の銅板で、片面を研磨剤トリポリを用いて機械的に一軸バス研磨し、電解脱脂さらにアルコール洗滌する。こうして得られた銅板には、 $0.1 \mu \sim 0.4 \mu$ 程度の研磨溝が無数に生じ、これが電着薄膜の構造および物性に大きな影響を及ぼす。電着液は $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, H_3BO_3 , NH_4Cl の混合溶液で、 $\text{Ni} : \text{Fe} = 86 : 14$ である。電流密度によつて膜成分をコントロール出来るので、この方法によつて 80Ni-20Fe(Film I) と 82.5Ni-17.5Fe(Film II) の成分膜をつくつた。なお、電着中外部磁場は加えていない。膜厚は $600 \sim 4500 \text{ \AA}$ で行つたが、薄くなる程磁区構造が複雑になる傾向がある。Film I では、磁壁は scratch に入り込んでおり、180 度磁壁で外部から磁場を加えてみると磁化容易軸が scratch と平行に生じることがわかつた。Film II では色々な場合があり、Film I と同じ場合、非常に磁区の複雑な膜、比較的単純で、磁壁が scratch とほぼ直角に走る膜、の 3 つに大別され、最後のような場合には容易軸は scratch と直角方向であると推定された。外部から scratch と平行な tension compression を与えた結果等をまとめると第 1 表のようになる。つまり、これらの電着薄膜では scratch の方向に結晶の elongation が生じていて、その方向に tension が働いていると考えることができる。最後に、cross-tie 磁壁、slender domain, cubic な異方性等の観察されたことをつけ加えておく。

* 「電着金属薄膜」 津屋(29日報告)

第 1 表

	Film I (80Ni-20Fe)	Film II (82.5Ni-17.5Fe)
基板の研磨方向	↔	↔
磁歪定数 λ	正	負
shape anisotropy (K_s)による容易軸	↔	↔
magnetoelastic anisotropy (K_λ)による容易軸	↔	↓
膜の容易軸	↔	$K_s < K_\lambda \uparrow K_s \approx K_\lambda$ 不定 $K_s > K_\lambda \rightarrow$
external tension (↔)による容易軸	↔	↓
external comp. (→↔) による容易軸	↓	↔

磁気異方性

誘導磁気異方性

東北大金研 高橋 実

磁場中蒸着あるいは電着によつて生ずる磁気異方性に關し今後の研究方針を検討するため多結晶蒸着膜、電着膜及び単結晶膜の夫々について研究結果を整理し問題点を抽出する。

(1) 多結晶蒸着膜： 硝子上に蒸着した膜の異方性の原因を求めるために行われた多くの実験的研究の中、薄膜共通の性質として認められ、かつこの原因を決定するための有力な結果として考えられるものは、(I)異方性常数、 K_u と下地温度、(II) K_u と組成との関係であろう。(I)の結果は異方性の原因として考えられた纖維組織または鎖状構造の存在の有無を決定し、(II)の結果はこの異方性が形状異方性、一軸的な原子対配列あるいは磁気との関連によつて生ずるものかを決定することができるからである。現在は $E = E_{up}$ (原子対) + E_{ul} (磁気) = $T(T_c - T_0) \{ c^2(1-c)^2 + 3/2 \lambda^2 E \}$ で異方性エネルギーはうまく表現され、(Néel 一谷口一近角理論) + (古典的Bozorth 説) で落着したように考えられているが、これが

適用されうる範囲は40~80%Ni-Fe 範囲の組成であり、純金属Fe, Ni では実験結果のバラツキと併せ不満足である。一方 Pugh 等が提出したやや具体的な構造欠陥因子の一軸的配列説は K_u と蒸着中の真空度との関係、膜の微視的構造の探求と相俟つて定量的物理的表現が望まれる。

(2) 電着膜： 細心の注意を払つて磁場中で作つたFe, Ni, Permalloy 電着膜と同様 $K_u \sim 2 \times 10^5 \text{ erg/cc}$ のほぼ完全な一軸異方性が現われる。しかしこの異方性は磁場無しで電着した場合にも現われることが判られた。

(3) (100) 単結晶膜： 現在磁場中蒸着によつて作つた単結晶膜の研究は存在しない。下地温度、膜厚を変えた場合の電子回折による結晶解析結果と磁気測定結果はほぼ近角の結果と一致しているが、膜内に存在する大きな歪 ($\sim 15 \text{ Kg/mm}^2$) の原因は未だ明らかでない。

以上の電着膜、単結晶膜の場合においては歪の原因が共に膜 epitaxial Growth と大いに関連があると考えられるので、系統的に下地温度、膜厚等を変え、微視的な膜構造と磁気の変化を解析し研究を行つている。

ニッケル薄膜の rotatable anisotropy

森 隆一 (沖電気)

近角聰信 (東大物性研)

この問題に関しては、先に小林・近角⁽¹⁾の発表がある。そこで重要な結論の一つは rotatable 膜では強い磁界を用いさえすれば、容易軸の回転はいくらでも速くなるということである。ここでは、その原因追究の第一歩として、製作条件を検討した。

1. rotatable anisotropy の生じなかつた製作条件

真空度 $10^{-6} \sim 10^{-5} \text{ mmHg}$

下地温度 常温~300°C (赤外ランプ加熱)

下地 硬質ガラス (1 mm厚, 12 mmφ円板)

膜厚 230~1800Å

蒸着速度 抵抗加熱 900~34Å/sec

電子衝撃 143~23Å/min

蒸着中磁界 30あるいは150e

抵抗加熱法 1.0 mm ϕ W線 2本約7cm長に通電加熱。蒸着距離10cm。

電子衝撃法 ~1.6 KV, ~100mAで13mm ϕ × 15 mm長のNi円柱を(マグネシアあるいはジルコニアアルツボ中で)加熱。蒸着距離20cm。

下地洗浄法

- ① 中性洗剤でみがく。
- ② 熱湯で洗浄一回。
- ③ 蒸留水中で超音波(400KC)5分間引加。
- ④ 重クロム酸混液中で超音波30分引加。
- ⑤ 蒸留水で四回洗浄後蒸留水中で超音波5分引加を5回繰り返す。
- ⑥ 乾燥。

*前回の実験⁽¹⁾との主な相違。

1) 下地加熱法が(ハンダゴテ・ヒーター)+(真鍮塊)でないこと。

2) 洗浄法が一部異なること。前回では、②の操作がなく、④で超音波30分の替りに、24時間放置、④の次に石ケン水中超音波洗浄、⑤の次にアルコール洗浄が加わっている。

2. 膜の製作条件と rotatable anisotropy の有無。

前述の方法で洗浄した下地とベンジンで一回洗つたのみの下地とに関し、rotatable anisotropy の有無を、製作条件に着目して下記に記す。

	洗浄下地	未洗浄下地
下地温度 300°C	無	有
下地温度常温	無	有
400°C pre-heat	無	有
抵抗加熱(あるいは高蒸着速度)	無	有
電子衝撃法(あるいは低蒸着速度)	無	有

なお、rotatable か否を調べるための放置磁界は最高15.1 kOeまでを用いた。

最後に、この実験に御協力して下さつた山根氏に感謝する。

文 献

(1) 小林・近角： 日本物理学会昭和37年秋の分科会予稿集4， p. 246.

Rotatable Anisotropyについて

横浜国大物 今野 宏

多結晶薄膜の磁気異方性は、大ざつぱに類別して、Ⅰ) 合金の磁場効果によるもの、Ⅱ) 斜蒸着効果によるもの、Ⅲ) 純金属の磁場効果によるもの(Ⅰ)Ⅲ)は磁場なしでもできることが多い)が知られている。これらの異方性をもつ試料を磁場中で熱処理して、異方性の方向、値を変える実験は、異方性の原因究明のために数多く行われており、原因の解釈はかなり進んでいる。しかし、rotatable anisotropy はこれらの異方性とは異なり、常温においてもかなりすみやかに回転する性質のものであり、その原因是知られていない。従つて、まず現象を明らかにする必要がある。rotatable anisotropy の測定に当つては、これが本来不安定なものであるために、通常の異方性の場合と異なる注意も必要となる。

A.C. loop tracer による測定：loop を観測しながら試料を回転させ、loop の形状よりeasy axisを知ることができるが、rotatable anisotropy の場合は、試料を回転させる際、測定磁場を anisotropy の rotation が起りはじめる磁場 H_A より小さくしてから回転させなければならない。 90° 回転した後に、再び磁場を H_A 以上にし、適当な振幅を与えると、loop は最初、普通の anisotropic Film の hard axis で現われると同様な形をしているが、見る見るうちにeasy axisでの形になる。このように anisotropy rotation の process が見られる。だが、このとき振幅を H_A よりあまり大きくとると、rotation が早くて、目では見られない。

torquemeter による測定：rotatable anisotropy が観測可能な磁場領域と anisotropy が rotate する磁場領域とはつきり区別されている膜では、普通の方法で easy axis の方向、anisotropy constant が測定可能である。Graham は Ni on Mo の composite film でこのような測定を行つている(J.A.P.33 S)。われわれは普通のガラス上の Ni 膜で同様な測定を行つた。このような膜の場合 rotational hysteresis loss は磁場に対して二カ所で peak を持ち、二つの peak

の間で rotatable anisotropy が観測され， H の高い方の peak 附近が H_A に当り，これより高い field では torque 测定と共に anisotropy は回転してしまい，測定に現われるのは膜に本来ある rotate しない異方性だけとなる。

rotatable anisotropy 観測可能な領域と rotation を起す領域とが overlap している場合には，普通の torque 法は使えないで，remanence 测定により easy 方向を知る方法を用いる。

同一膜について，loop tracer で anisotropy rotation を観測するときの磁場振巾に対応する直流磁場では，anisotropy rotation の relaxation time は，交流に比べてはるかに長い。例えば，loop tracer では 50 Oe で 10 秒の order で rotation が完了する膜は，直流 100 Oe を数分間加えても rotation は完了しない。これは，rotation には交流磁場がより有効であることを示している。しかし，直流を加える前に，その方向に交流をかけると，remanence は正確にその方向に向く。即ち，anisotropy は完全に rotate のている。

今までにわかつたこ rotatable anisotropy の性質： I) 異方性が常温で回転する。 II) 回転をはじめる磁場 H_A は膜（パーマロイ，ニッケルを含む）により数～数千 Oe の範囲にわたる。 III) H_A は飽和する磁場 H_s より小さい。 IV) H_A 近くでは異方性回転はゆつくりで， H が増すにつれてはやくなる。 H_s 以上では観測できない。即ち rotatable anisotropy は消滅する。 V) H_A 附近では，直流磁場より交流磁場がより rotation に有効である。 VI) 適当な熱処理で，rotatable な性質はなくなる。あるいは H_A は著しく小さくなる。

異方性の分散について

東大物性研 近角聰信

最近発表された H.Rother¹⁾ の論文を紹介した。この論文は 3 部から成り，いずれも薄膜の ripple structure について，I) その成因，II) 磁区の巾への影響，III) 保磁力への影響を計算した実験と比較し，見事な一致を得ている。それぞれの部について，idea が面白く，計算法が巧みで，しかも薄膜の重要な性質に説明を与えている。近来にな

い重要かつ興味深い論文である。

I) では直径 a の結晶粒から成る薄膜で、その粒子の方位は無秩序であると考えた場合、粒子間にわかつてスピンは交換相互作用のために方向は急激には変化しないが、一方その結晶磁気異方性のために、スピンの向きは徐々に変えられる。この問題を統計的に扱い、スピンの ripple は、波長は $2a$ から $8a$ まで分布し、その角度振巾 $(H)_0$ は a^2 および K (異方性定数) に比例し、 A (変換定数) に逆比例することになる。 a^2 に比例する関係は実験と見事に一致している。

II) は磁区の巾が ripple 構造で影響を受けることを扱っている。ripple がないときには、磁壁のところに現れるべき磁極が、ripple に現れている逆符号の磁極のために打ち消され、静磁エネルギーが減少することにより巾が変化する。結論は磁区の巾は $a^2 K \sqrt{H_k} / D$ に比例することになる。ここで H_k は一軸異方性磁界で、 D は膜厚である。この点も実験とよく一致する。

III) は保磁力の計算で、Néel 磁壁はその中でスピンが $120\sim130^\circ$ 回転し、その両側で、かなりの広い範囲にわかつて $25^\circ\sim30^\circ$ ずつ回転しているという事実をやはり、ripple 構造との静磁作用で説明し、それによる磁壁エネルギーの場所による変化から、保磁力を計算している。保磁力は $a K_1 \sqrt{H_k}$ に比例すべきであるが、これも実験とよく一致している。

1) H.Rother : I) Z.f.Physik, 168, 42-54 (1962)

II) Z.f.Physik, 168, 148-154 (1962)

III) Z.f.Physik, 168, 283-291 (1962)

パーマロイ薄膜の異方性分散

日立中研 杉田 憲

磁場中蒸着 (蒸着時 10^{-5} mmHg, 蒸着速度約 20\AA/sec) によつて作成した厚さ約 2000\AA のパーマロイ膜の異方性の分散 (H_k の分散および容易軸の角分散) をトルク計および B-H ルーパを用いて測定した。まず困難軸方向の残留磁化の非常に小さい膜 (Type 1) と非常に大きい膜 (Type 2) について rotational hysteresis の磁場依存性,

直角方向磁場によるトルク，Crowther 流の角分散の測定を行なつた結果 'Type 1' でも H_k の分散があり [その上限は約 $2\overline{H}_k$ (平均の H_k)] また容易軸も約 $\pm 3^\circ$ の間に分布していることがわかつた。Type 2 ではさらに異方性の分散が大きい。

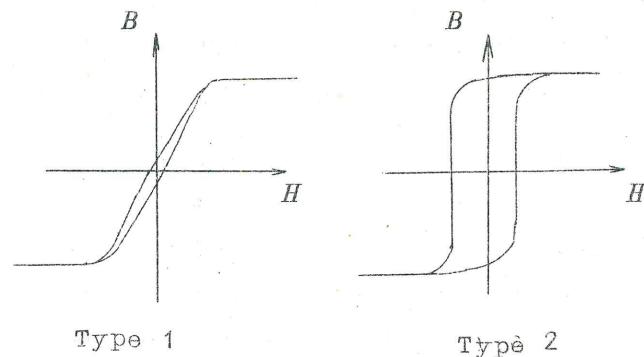


Fig. 1 困難軸方向の B — H ループ

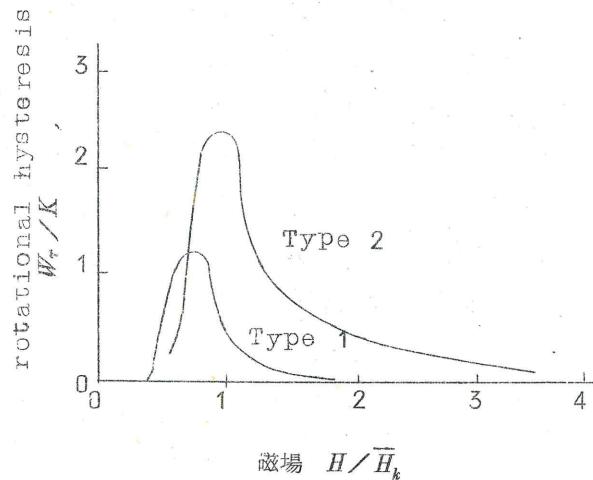


Fig. 2 rotational hysteresis の磁場依存性

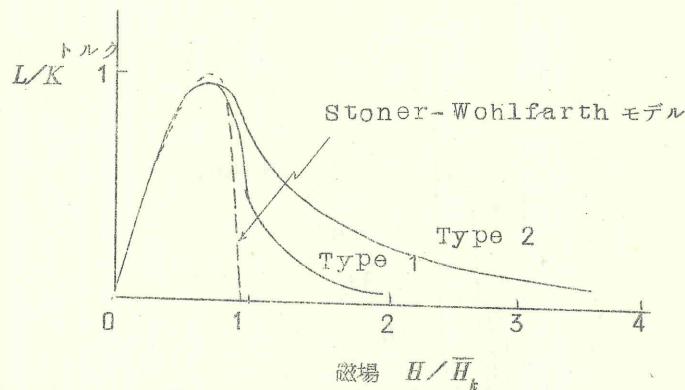


Fig. 3 直角方向磁場によるトルク

次に組成、下地温度、焼純温度を変えて膜を作成し上記の測定を行なつた。

一般に 75%Ni~81%Ni で H_k 容易軸の分散は小さく 85%Ni 以上になると分散は非常に大きくなる。70%Ni 以下になるとやや大きくなる。内部応力、結晶異方性両方の影響と考えられるが Ni rich (>85% Ni), Fe rich (<70% Ni)

では内部応力が支配的になると思われる。作成温度に関しては次の結果

が得られた。 H_k の分散に関しては顕著な変化がみられないが、分散角は高温ほど大きくなる。結晶粒の成長と H_k の減少が角分散の増大の原因であろうと考えられる。

作成温度をさらに高温にすると結晶粒が急激に成長し磁気的には一軸異方性よりも内部応力による任意の方向の異方性が支配的になる。

異方性を小さくかつ分散を小さくするには下地温度を高くしつつ蒸着速度をできるだけはやくする必要がある。

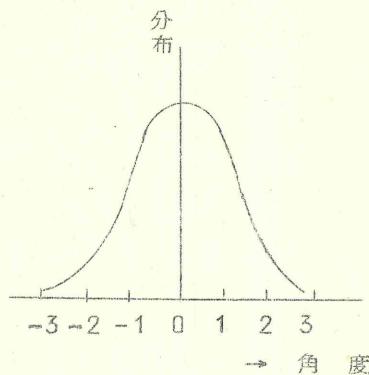


Fig. 4 Type 1 の容易軸の角分布

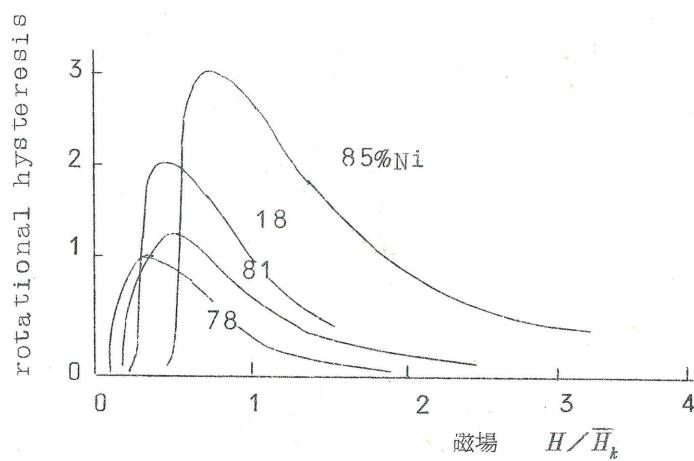


Fig.5 rotational hysteresis と組成

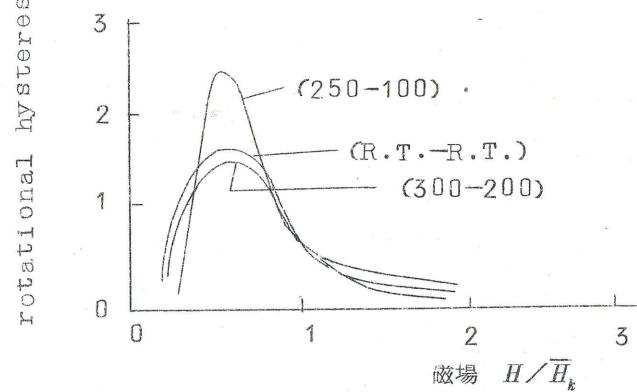


Fig.6 rotational hysteresis と作成温度

(250-100) は下地温度 250°C
焼鈍 " 100°C (2hrs)
を意味する。

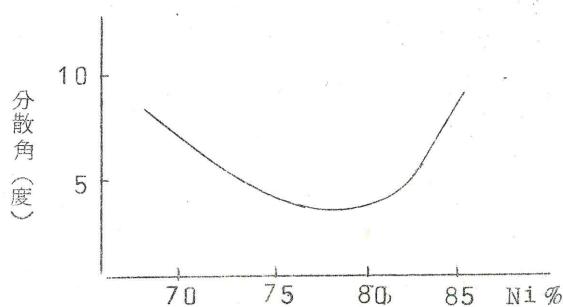


Fig.7 分散角と組成

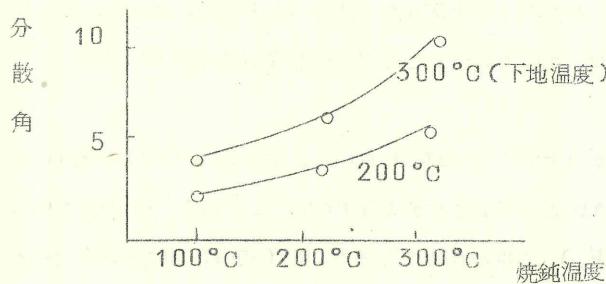


Fig. 8 分散角と作成温度

パーマロイ薄膜の Rotational Hysteresis

日立中研 藤原英夫

一軸異方性磁性薄膜は、回転モデルでは $H_k/2 < H < H_k$ で rotational hysteresis を示すことが示されている。しかし、蒸着条件によつては数Oe～数百Oeに亘つて rotational hysteresis を示す膜が得られる。この原因となる異方性は膜に一様な一軸異方性ではなく、等方的に分布する局所的異方性である(Fig.1)。このような異方性としては、1.結晶異方性、2.ミクロに分布する stress による異方性、3.結晶粒又は孔の形状異方性、4.酸化物等との interaction による異方性等が考えられる。問題の異方性がこれらの何れであるかを決定するため有効な実験事実を以下に列記する。

1. 問題の rotational hysteresis は数Oe～数百Oeに亘つて現われる。
2. 蒸着時の substrate temperature を比較的高温にすると現われる。(蒸着速度 20 \AA/sec)。 (annealing に関しても同様)。
3. 結晶粒は数千 \AA 以上。(正常な膜では数百 \AA)
4. 問題の rotational hysteresis は組成依存性を示し、70～80%Ni で minimum となる。(Fig.2)
5. 消磁状態での domain structure は非常に複雑で、 $B-H$ ループ、トルクメータ、ピッターパターン等の観測結果は、任意の向きに十分な磁場を加えて除去すると、磁化は殆んどその向きに飽和して安定に残存することを示す。(この場合高次対称性を有する異方性が関与しているとするのがよい。)

以上のうち(4)は問題の異方性は形状異方性ではないことを示している。酸化物等がどのように影響するかは未だ検討していないが、ここでは結晶異方性及び stress をとりあげて考慮した。

結晶異方性がそのままの太いさで rotational hysteresis に寄与するものとすると(結晶粒が十分大きいとして)これによる rotational hysteresis は $H_k/4 < H < H_k$ ($\equiv 2 K_1/M_s$) で現われることになる。(結晶異方性を四回対称とする。) H_k は Fig.3 の如く組成と共に変化する。これは Ni concentration 90%以下の膜では 500e 以上で現われる rotational hysteresis が結晶異方性のみでは説明出来ないことを示す。通常の膜には少くとも 10^9 dyne/cm² の stress があることを考慮して $3 \lambda \sigma / M_s$ を Fig.3 に点線で示す。これを見ると磁歪 0 の近傍を除けば、 $\sim 10^{10}$ dyne/cm² の stress によって一応説明出来そうである。しかし、なお詳しくはこの異方性の分布波長が大であることを考へる必要があり(実験事実 3), 局所的 stress は更に桁の大きなものを考へなければならない。特に磁歪 0 の近傍でも $H_k > 1500$ e であるという事実は単純に stress のみでは解決出来ない。従つて問題の rotational hysteresis は低磁場では結晶異方性及び stress, 高磁場では stress である程度の説明は出来るが、更に他の mechanism をも考慮する必要があろう。

* 一般に $E_a = A \sin^2(n\varphi/2)$ なる異方性を有する膜のトルク L は $h = H/H_k$, ψ を H の向きとして

$$L = \frac{1}{n} M_s H_k \cdot \sin\left(\frac{\theta(\varphi)}{2}\right)$$

$$\psi = \frac{1}{2n} \theta + \sin^{-1}\left[\frac{1}{n} \frac{\theta}{h}, \frac{1}{2}\right]$$

$$0 \leq \theta \leq \pi + \cos^{-1}\left[1 - 2 \cdot \frac{(nh)^2 - 1}{n^2 - 1}\right]$$

となる。rotational hysteresis は $1/n < h < 1$ で現われる。特に四回対象のときは、 $H_k = 2 K_1/M_s$ となる。

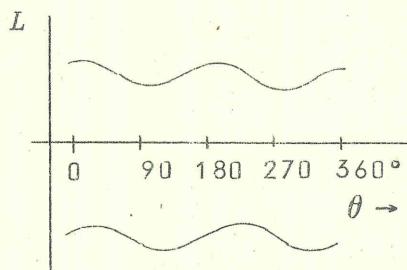


Fig. 1 異常パーマロイ薄膜のトルク曲線

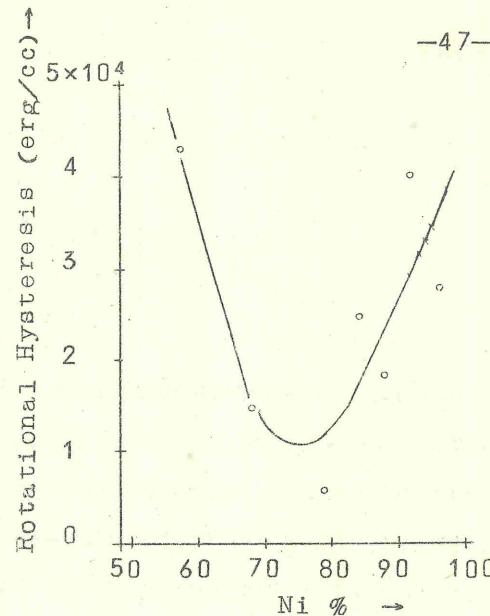


Fig. 2 異常パーマロイ薄膜の rotational hysteresis

(at 150 Oe)

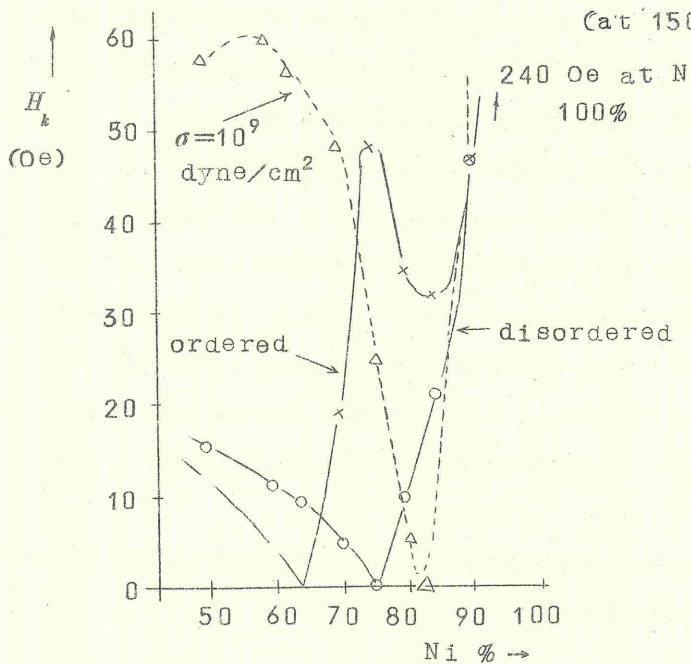


Fig. 3 $H_k \equiv \frac{2K_1}{M_s}$ の組成依存性

(Bozorth の bulk のデータから計算)

金属薄膜の磁歪

富士通研究所 酒井佐芳

薄膜の磁歪は今までに直接測定されたことがない。これは薄膜が下地に附着したままで伸びがあまりに小さく、はがせば rigid でないため塊状試料のように静的な伸びの測定ができないからである。しかしこれを交流的に測定すれば相当小さい伸びでも測定できる。ここに試作した装置は 2 Kc の交番磁場の中に一端を固定した試料を置き、他端をレコード用のクリスタルピックアップの針（形状を改造したもの）の上にのせることによつて試料の磁歪による振動を検出する。試料は 0.3 μ の銅線上に Permalloy を電着したもので、銅線に密着した状態での伸びは銅線と薄膜の断面積の割合だけ小さくなり、S/N 比がいちじるしく小さくなつて測定困難なので狭帯域増幅器を用いて試料の振動の基本周波数だけを検出増幅することにした。このため磁場の振幅が大きいと高調波成分を無視したことが大きな誤差となるので、直流磁場 H に小振幅（最小で ±0.2 Oe）の交番磁場 ΔH を重畠することにより、磁歪 λ の磁場に対する勾配のような量 $d\lambda/dH$ を測定した。

このような測定法を行つた結果の一例を示せば、 $F_\theta < 20\%$ の試料では $F_\theta > 20\%$ の試料に比べて磁歪が飽和する磁場が大きい。これは膜に Tension が働いて $\lambda < 0$ のものでは容易軸が膜面に垂直方向に向いているためと考えられる。又 $\lambda \approx 0$ の試料では弱磁場（約 30 Oe 程度以下）で起り、それ以上の磁場で縮みが起る。これは $F_\theta > 20\%, < 20\%$ の組成の折出があるためと考えられる。又多くの場合薄膜の磁歪は塊状試料に比べて半径程度小さい値に観測されたが、組成や伸びが定量的にどの程度の誤差を含むかはつきりしないのでしかなことは不明である。

この他、張力をかけながら磁歪を測定する等の手段を用いて膜厚、組成、異方性等に関するより定量的に調べて行く予定である。

薄膜の内部応力と磁性

近角聰信

§ 序論

最近，磁性薄膜の磁気特性にはいろいろな意味で内部応力が影響していることが分つて来た。ここではどのように内部応力が磁性薄膜に影響を与えるか？また逆に磁性から内部応力についてどのようなinformationが得られているかについて述べる。

§ 2次元的に等方的な内部応力

薄膜の面内にはたらく等方的な内部応力 σ は，立方晶系に属する磁性体の単結晶膜については，その面内でスピンを回転させて測定した4回対称の磁気異方性に対して，次式のように影響を与える。^{1) 2)}

$$E_{K\sigma} = \sigma \left(\frac{2}{3} h_4 - 2 h_3 \right) a_1^2 a_2^2$$

ここに h_3, h_4 は5定数で現したときの磁歪定数， a_1, a_2 は面内の立方軸についてのスピンの方向余弦である。事実岩塩上にepitaxyで生長させたNiの単結晶薄膜について面内の磁気異方性を測定すると，bulkのNi単結晶について知られている結晶磁気異方性定数($K_1 = -5.5 \times 10^4 \text{ erg/cc}$)よりも， $\Delta K_1 = -5 \times 10^4 \text{ erg/cc}$ ほども絶対値が大きく出る。これを上述の原因によると考えてNiについて得られている $h_3 = -2.3 \times 10^{-6}$ ， $h_4 = -7.5 \times 10^{-6}$ を代入すると， $\sigma = -8 \times 10^{10} \text{ dyne/cm}^2 = -800 \text{ kg/mm}^2$ が得られる。一符号は応力がcompressiveであることを意味している。これが確かに内部応力によるものであることは，下地の岩塩を水で溶かして取除くと， K_1 が正常になることからも分るし，またcompressiveであることは，膜の一部に水が侵入したとき，膜にしづがよることからも分る。

次に面内からスピンを面の法線方向に回転するときの垂直磁気異方性は普通は膜の形状による異方性 $E_{\perp} = -2\pi I_s^2 a_3^2$ IC加えて，更に

$$E_{\perp\sigma} = \frac{3}{2} \lambda_{100} \sigma a_3^2 - \frac{1}{3}$$

で与えられる異方性を生ずる。岩石上のNi単結晶膜では $1 \times 10^6 \text{ erg/cc}$ 程度の余分な垂

直異方性を生ずることから、 σ を計算すると $\sigma = -1.45 \times 10^{10} \text{ dyne/cm}^2 = -145 \text{ kg/mm}^2$ となる。^{1) 2)}

これはX線で見られた tetragonal deformation の値とも一致する。²⁾

これら的事実は岩塩の方が Ni より熱膨脹係数が 3×10^{-5} 程度大きく、蒸着が高温で行われていることから説明できる。下地がガラスの場合は事情は逆で、ガラスの方が熱膨脹が小さいことから、生ずる応力は張力であろうと思われるが、これは権藤ら³⁾ の実験、Smith らの mottled film⁴⁾ などから確かめられる。Neugebauer⁵⁾ の測定からこの張力は $\sigma = 1.08 \times 10^{10} = 108 \text{ kg/mm}^2$ 程度と推定される。

§3. 2次元的にも不等方な内部応力

これは面内の磁気異方性 $E_a = -3/2 M_0 \cos^2 \theta$ となる。予め内部応力がなくとも、磁歪による strain が下地に fix されるだけでも面内異方性を生じ、そのときの定数は $K_s = 1/2 (3/2 \lambda)^2 E$ (E はヤング率) となる。⁶⁾ また応力が非一様なときには、回転損失-ripple 構造、大きな保磁力を生ずる原因となる。⁷⁾

- 1) S.Chikazumi : J. Appl. Phys. 32, 81S (1961)
- 2) J.F.Freedman : J. Appl. Phys. 33, 1148S (1962)
- 3) Y.Gondo, H.Konno & Z.Funatogawa : J.Phys. Soc. Japan, 16, 2345 (1961)
- 4) E.E.Huber JR. & D.O.Smith : J. Appl. Phys. 30, 267S (1959)
- 5) G.A.Neugebauer : Structure & Properties of Thin Films (John Wiley & Sons, 1959) 358p.
- 6) G.Robinson : J. Phys. Soc. Japan 17SB-I, 559 (1962), Mullard Res. Lab. Rep. No.434.
- 7) H.Rother : Z.f.Phys. 168, 42, 148, 283 (1962)

銀蒸着膜の内部応力

学習院大・理 木下是雄

常温の雲母片に 10^{-5} mmHg の真空中で銀を蒸着し、雲母片の曲がりから銀膜内の応力（張力、すなわち膜はちじみたがつている） σ を求めた。 σ は膜厚 d が小さくなると急激に増大し¹⁾、 $50\text{ \AA} < d < 1000\text{ \AA}$ ぐらいの範囲では $\sigma d = 177 \times 10^9 (\text{dyne/cm}^2)\text{ \AA}$ の関係が成り立つ²⁾。これは、膜厚の如何にかかわらずその中の一定の厚みの薄層に一定の応力が局在していると考えれば一応説明できる²⁾。応力発生機構を説明する上ではその“薄層”が下地に接する部分であるとする方が考えやすいが、膜がはげるとき上面を内側にしてまきこむという事実を説明する段になると困る。

その後の実験によると、 $d > 1000\text{ \AA}$ では σ は d とともにやや増加する傾向があるようだ。斜め蒸着の場合は測定値のバラツキが大きいが、垂直入射の場合にくらべて σ が大きく、また入射面に垂直な方向の張力がこれに平行な方向の張力にくらべてやや大きいといいう傾向がみとめられる。

低温または高温の下地への蒸着、あるいは蒸着後の膜の焼純等の実験をこころみたが、雲母片、金属箔等を下地としたのでは、熱効果による下地自身の永久変形（クリープ）が介入して、信頼できる結果が得られない。この点で Hoffman らの実験³⁾には疑問がある。クリープのおそれのない、薄い下地として、溶融水晶板（0.1 mm厚）を使い、ニュートン・リングによつて変形を測定する方法で温度効果の実験をはじめたところである。

- 1) K.Kinosita, H.Kondo and I.Sawamura : J. Phys. Soc. Japan, 15 (1960) 942.
- 2) K.Kinosita and H.Kondo : J. Phys. Soc. Japan, 15 (1960) 1339.
- 3) H.Story and R.W.Hoffman : Proc. Phys. Soc. B70, (1957) 950.

金蒸着膜の内部応力

東大工応物 金 原 燦

非晶質又は多結晶質の下地の上に蒸着された金属薄膜の内部には張力が働き、下地から膜をはがすと下地面側を外側にしてくるくる巻く性質がある。これらの性質は磁性体薄膜の磁気的性質に大きく影響すると予想される。

薄膜の内部の張力は、主に蒸着を行つた後の下地の曲りから測定される。この曲がりは、直接顕微鏡で測る方法、ニュートン環を利用する方法、電気容量に変換する方法などで観測される。

ニュートン環を利用して測定した結果によると、金の蒸着膜の内部には、 10^9 dyne/cm^2 程度の張力が存在すること、膜が厚くなると共に応力の値は増加することがわかる。この膜をX線スペクトロメーターで観測するとすべての回折像のピークが、プラツグ角の大きい方にずれているので、一応これを格子の歪と考えると応力が計算され、この値と膜厚変化の傾向は下地の曲がりから求めた結果と大体一致する。

蒸着膜を焼鈍すると下地の曲がりは大きくなる。つまり内部の張力が増加するといえる。しかし、焼鈍という過程は結晶粒の成長や結晶粒内の歪の減少を予想させる上、X線回折からもこのことはある程度裏づけられる。そこで蒸着膜の内部で内部応力の原因となつているものは非晶質部分ではないかということが考えられている。結晶粒はその非晶質部の中に“浮いて”存在しているという可能性もある。

金属蒸着膜の内部応力

(Antimony 蒸着膜を中心として)

東大工応物 堀越 弘，田村 規子

最近我々の研究室において、アンチモン蒸着膜の内部応力に関して、かなり明解な結果が得られたのでそれを報告する。

蒸着したアンチモン膜は非常に特異な性質を示すことが知られている。すなわち、蒸着され

たアンチモン膜が薄い時は，amorphous structure を示し，ある critical thickness を越えると結晶化が始まる。その結晶化はゆつくりと進み，しかも，数mmの円板状の結晶領域が拡がつていくのを眼で見ることができる。また，その critical thickness も $\sim 200\text{\AA}$ と非常に厚い。

以上の性質に注目して，色々な条件で蒸着したアンチモン膜の，内部応力と電気抵抗を同時に連続的に測定したところ，次のような結果を得た。

1) 膜の比抵抗が急激に減少するとき，すなわち，アンチモンが amorphous から crystalline に変る時，同時に非常に大きな応力が発生する。

2) 中間の膜厚 ($200\text{\AA} \sim 1500\text{\AA}$) では，すでに膜内の結晶化が始まっているので，その時蒸着をとめても，引き続いて，比抵抗は減少し，一方，応力の方も発生し続ける。この変化は数分，長い時は數十分にも及ぶ。

3) critical thickness 以下の薄い膜，あるいは結晶化を終了している厚い膜では，2) のようなゆつくりした経時変化は観測されない。

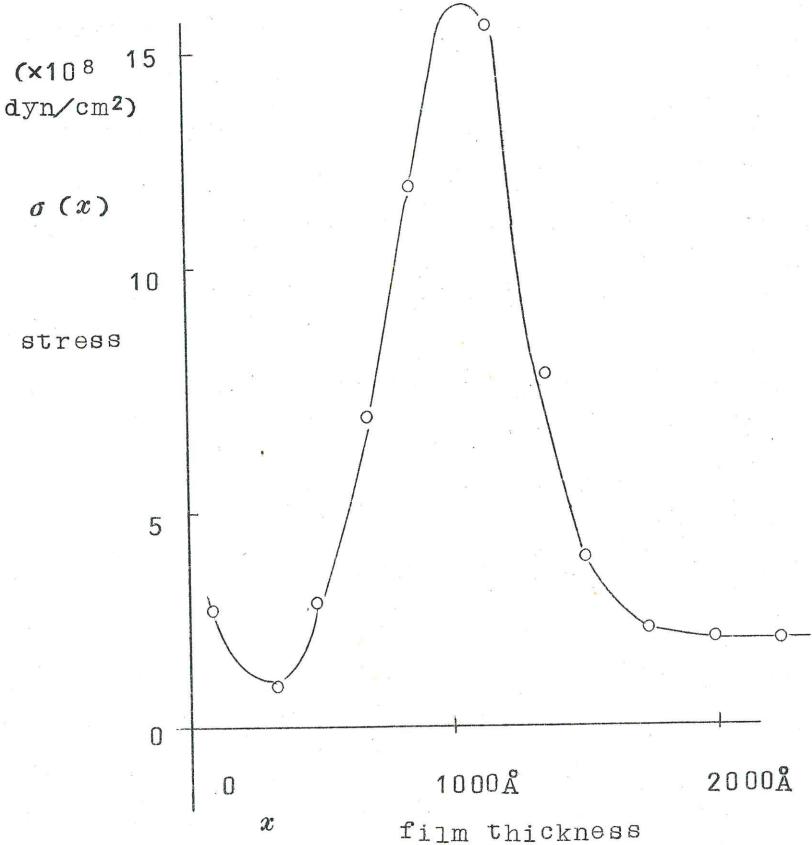
4) 蒸着速度を速くすると，比抵抗の減少，及び，応力の発生は必ずしも厚い膜になつてからおこる。さらにこの時には大きな応力が観測される。このことは，厚い amorphous layer が最初に形成されることによると思われる。

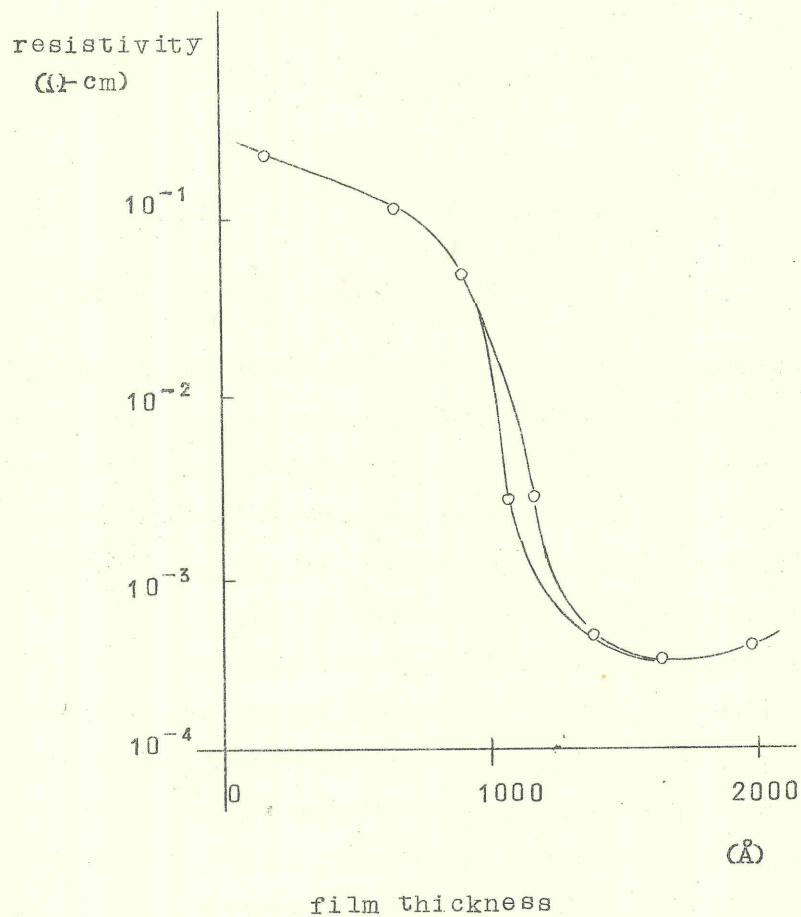
5) 下地温度を上げていくと，始めから結晶性の膜が形成され，応力の値も減少し，ある温度以上では compressive stress が観測される。

以上のようにアンチモン薄膜の応力は，膜の結晶化と非常に関係のあることがわかつた。一方他の多くの金属膜についても，同様な傾向が見られることは，これらの場合についても類似の機構を考えることができるものと思われる。

以下次号

-54-





サ　ロ　ン

共同研究に参加して

東大理・物理 青 柳 淳

これまでにも何回か物性研を訪れたことはあつたのですが、昨年の秋に我々の共同研究が活動を始めてからこの半年間に延べ4,50日はこちらに参つております。物性研のあの門を誰かが龍宮城の門のようだと云つていましたが、そり云えば此所には乙姫様はいないとしても、「ぼら」や「こち」、「なご」や「あこう」、「めだか」……などはいるかも知れません。門衛所は、かつてここが兵舎であつた時代の衛兵所で、その正面を塗りつぶしたことが一目で判ります。してみると門衛の後の配電室は旧倉庫なのでしょうか。

物性研が昨年七月共同研究計画を初めて公募され、我々の「超高磁場パルスを用いた分光学」はそれに応募し採択されて、八月から準備が始まつたわけですが、我々のこころみがある意味でテストケースであると伺いましたので、これまでの経過をここで御報告しようと思います。

我々の研究は、コンデンサー放電方式により約1m secの時間幅で約30万ガウスのパルス磁場を作り、その磁場中に置かれた固体の光吸収を、光源としてキセノンランプの光パルスを用いて写真測光しようとするものです。現在約20万ガウスの磁場を発生し、ルピーの線状吸収のゼーマン分裂の撮影にこぎつけたところです。

初の予想通り、磁場用コイルの作製が常にネックであり、この三月に30万ガウスを出すことを目標としていたのですから、予定より多少遅れているわけです。しかし曲りなりにも一応データが出始めたのは成功の方かも知れません。そこで考えてみると、我々の場合にはいろいろな好条件が重つていたように思われます。(一) 共同研究者(筆者と三須明君)が東京在住者であること。(二) 主要な実験装置・施設がほとんど物性研内で借りられたこと(実験室・コンデンサー・パンクなどを小林浩一研に、分光写真器を塩谷研に、暗室は長倉研からお借りしています)。(三) 物性研内に我々の研究代表者(菅野所員)がいることです。恐らくこれ等の条件の内、どの一つが欠けても実験はきわめて困難になつたであろうことは御推察いただけると思います。

私のように本郷の物理学教室でそだち，他所を知らない者には，完備した此所の施設に初は却つてとまどいました。又すべての点で勝手が違い，例えば常備の小ネジの種類にしても本郷と物性研は違うために，一つのナットが合わなくて困つたこともありました。よその研究室での仕事が非能率的であることは初から覚悟しておりましたが，こちらの「ストックルーム」が本郷の「雑品室」程度であつたなら，我々の苦労は恐らく半減されただろうと思います。一般的に云えることだと思うのですが，物性研で行われている実験は技術的に見て開発的なものが多いのですから，実験者自身が工作をせざるを得ないことが多く，又一日一日の実験が実は装置の改良であり修理なのですから，外来者が自由に使える工作室が是非ほしいと思います。何しろ，外来者にとつては，すべての物が借り物であり，何をするにもいちいち頭を下げて廻らなければ文字通り手も足も出ないのであるから，人によつてはその精神的負担に耐えられない場合もあり得ると思います。

共同研究にはまだ多くの課題が残されており，それが長期になると問題は更に本質的な所へさかのぼらざるを得ないと思いますが，物性研設立の一つのねらいが共同利用にあるとすれば是非とも解決していただきたいものだと思います。

Some Impressions of Japan

I have been asked to write something about my stay in Japan. By this time most Japanese have had some experience with foreigners and must have hear all the possible Impressions. There have probably been more books written about understanding Japan than about any other country. I have seen books entitled "The Heart of Japan", "The Soul of Japan", and "The Japanese Mind". I don't know what part of the body of Japan there might be left for me to comment upon. I have not had time to make a study of Japanese habits or customs and so my impressions are obtained mainly frome the public transportation, restaurants, and the people at this Institute. I cannot speak Japanese nor

have I traveled extensively. In sort, I feel that I am a highly unqualified commentator so that what I have to say will probably reflect more on my thinking than on anything Japanese.

I recall that my first impression of Tokyo was that it is very crowded. In some of the department stores on Sunday my movement seemed to depend mainly on the collision probability and I felt like a particle undergoing Brownian motion with a mean free path of about two meters.

One needs a lot of energy to keep up with the pace of life in Tokyo, especially with respect to the transportation system. If in addition one contemplate going to any other place the energy needed just to arrive there is enough to discourage all but the strong-hearted. I am amazed at the energy of the young people who have enough stamina to stand up all the way to their recreation places, play hard, and then return. I suppose they must have a secret source of power, maybe unagi. However, the punctuality of Japanese trains and the beautiful scenery more than compensate for the crowded conditions.

I am told that the Emperor doesn't like very hot baths and very hot tea. I agree with him. I like most of the Japanese food I have tried, including Japanese pickles, (except for takuwan). Some of the other things I will remember are the night sounds, especially the booming voice of the sweet potato vendor, soba-ya san's trumpet, and the mournful bark of the Japanese dogs.

For me one of the most attractive facets of Japanese life is the constant preoccupation with beauty. This

concern for the creation of pleasant surroundings seems to permeate almost all phases of life here and the general level of artistic sense seems to be very high. I especially like the use of flowers and bamboo.

There is considerable curiosity about Japan in the United States, especially on the Pacific Coast. However, the picture that most Americans get of Japan from movies, television, and newspapers is very different from what life is like here. After looking at America from the Japanese side I can see that there is a similar distortion. I hope that these defects will be erased in time as the communication between our countries improves.

The legend about Japanese hospitality, especially to Westerners, is certainly true. If there is any fault it is that, from the foreigner's point of view, the Japanese are too kind in that they sometimes overanticipate his wishes and infer too much unintended meaning into his remarks. I think this stems from a difference in the kind of personal relationships which Japanese and Westerners prefer and in the interpretation which is placed on acts of courtesy.

I have been told that I should not be allowed to leave Japan without getting to know the "real" Japan. I cannot say which part, if any, of reality I understand. It has been very stimulating to get to know some of the Japanese people and my only regret is that I cannot communicate better. My remarks have been necessarily brief and superficial. If anyone has any specific questions about anything I have or have not said I would be glad to discuss them.

Robert Rhodes

物性研ニュース

短期研究会開催のお知らせ

(38年12月までに開催のもの)

東京大学物性研究所

研究会名	時期(期間)	世話人	
高圧力下の物性	38.5中旬 (2~3日間)	東北大 広根徳太郎 物性研 山下次郎 箕村茂	
エネルギー変換と物性	38.7 (3日間)	九州大 岡田利弘	関係所員 田沼教授
結晶成長	38.7.11 39.7.13 (3日間)	東北大 山本美喜雄 東大 山崎弘 物性研 錦木平 中村輝太郎 中田一郎	
強磁場における物性	38.11中旬又は下旬 (3~4日間)	東北大 神田英藏 袋井忠夫	関係所員 菅原教授 田沼教授 菅野助教授
格子欠陥の物性論的研究に対する課題	38.12上旬 (3日間)	物性研 錦木平 神前熙	

物性研短期研究会

下記のプログラムの高圧力下の物性に関する研究会を開催します。参加希望者は提案者まで御連絡下さい。

研究会名 高圧力下の物性

日 時 昭和38年5月23日(木), 24日(金), 25日(土) 3日間

場 所 物性研第2輪講堂(管理棟3階)

- プログラム
1. 高圧下の相転移
 2. 高圧下の磁性
 3. 高圧下の共鳴現象
 4. 高圧下の格子欠陥
 5. 高圧技術の問題点

提案者 東北大金研 広根 徳太郎

東大物性研 山下 次郎

東大物性研 箕村 茂

編 集 後 記

○物性研だよりも第3巻を発行するようになりました。一応定常状態に達したようなので一同喜んでおります。

○この巻から、物性研だよりの編集は物性研図書委員会の責任において行うことになりました。

○今後の原稿の送り先、連絡先は次のとおりです。

東京都港区麻布新龍土町10

東京大学物性研究所図書委員長 斎藤 喜彦

○投稿・原稿の〆切 奇数月 10日

○発行予定 偶数月 20日

物性研だより

第3巻第1号

37年4月20日 発刊

東京都港区麻布新龍土町10

東京大学物性研究所

Tel (408) 3922

