

# 無機材研ニュース

第25号

昭和49年2月

## ホウ化ランタンの熱電子放射と表面

電子ビームは光に比べ容易に制御され、そのビーム径を数Åまで集束できるようになった。ますます微小化する集積回路の加工、電子ビーム記録等の電子工学、高分解能電子顕微鏡への応用の展望が開けた。実用上の最少ビーム径は輝度によって決まるため、放射電流密度の高いホウ化ランタンが最も秀れたエミッター材料として着目され始めた。

熱電子放射は固体表面の第一層の原子配列、さらには表面でのマイクロおよびマクロな欠陥、吸着等による表面エネルギースペクトルの変化によって敏感に影響を受ける。このために単体の金属をはじめとする多くの化合物の熱電子放射に関する膨大なデータの集積がなされてきたにもかかわらず、残念ながらほとんど解明されないうまま今日にいたっている。しかし、半導体回路素子のマイクロモジュールや集積回路への移行にともなって表面における電子過程の制御が半導体工学の最も重要な課題であり、また、吸着、結晶成長、触媒における分子過程の研究の蓄積も多くなってきた。これら二つのアプローチと固体自身の性質の相互関連から電子放射の機構を新しい立場で検討できる段階になったといえよう。

ホウ化ランタンのエミッター材料として要求される諸特質—寿命、劣化、反応性、加工性—をも考慮して、次のプログラムにしたがって研究を進めつつある。(1)単結晶の電子放射特性、(2)固体表面状態と初期酸化の過程、(3)高温における蒸発、(4)その応用としての蒸着膜の形成とその熱電子放射特性、(5)固体内部の性質との相関性である。これまでホウ化ランタンの熱電子放射の測定は多結晶体についてのみであった。最近になって、当研究所において初めて単結晶のデータを得つつあり、エミッター材料としての可能性と、さまざまな結果を解析するの

に指針となろう。

固体表面への分子、イオンの吸着が電気的パラメータである仕事函数を変化させることは広く知られた事実であり、エミッター材料がどこまでの低真空中まで使用できるかという実用問題にとっても重要である。この原因を明らかにするために、オージェ電子分光による検討を行なった。とくに、La-位置への酸素の吸着が熱電子放射を阻げることが明らかになった。清浄表面の二次元構造は極少数の物質についてしかわかっておらず、化合物についての研究はごくまれである。intrinsic な仕事函数を議論するためにも、清浄表面の二次元構造を知ることが大切である。単結晶を用いLEEDの研究を行なった結果、表面が清浄である限り超格子は見られず、規則正しい原子配列をしている。著しい特徴は、マクロに(211)面であってもマイクロには(100)面のfacetによって被われていることである。LaB<sub>6</sub>の構造と結合の性格から(100)面が最も安定であることは容易に推察できる。仕事函数は表面の性質のみならず、物質の基本的性質にも依存している。異なった稀土類元素の六ホウ化物の光電分光(ESCA)のスペクトルと仕事函数とを比較した結果、その間に相関性が見られた。表面構造が同じ構造であると考えられる物質群では、内部のエネルギー状態の変化によって仕事函数が変化するという事実を示した。

ホウ化ランタンのエミッター材料の技術上の問題は支持金属との反応性と加工の難しさにある。Ta等の耐熱金属の表面にあらかじめTaB膜を作り、その上にLaB<sub>6</sub>を真空蒸着する。LaB<sub>6</sub>と支持金属と反応は防がれ、安定で高密度の熱電子放射電流を得ることができ、特殊な陰極材料として利用できる。

# 真空昇華法によるピッチ類の分別

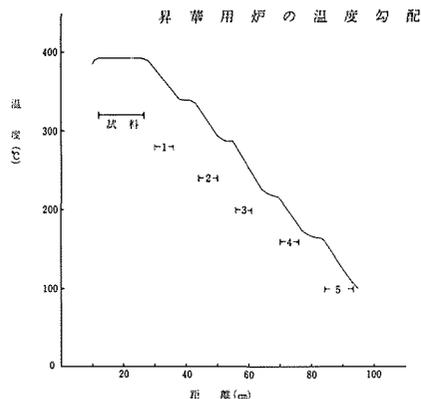
ピッチの加熱過程は、芳香環の発達もしくは高分子化の段階と考えられる。ピッチの組成を検討する際、何らかの分別手段をとる必要があるが、分子量または分子の大きさを利用した方法であれば、より直接的に組成変化に関する情報が得られる。分子の大きさを利用した方法としては、GPC (Gel Permeation Chromatography) があるが、この方法は多環芳香族化合物の場合、吸着効果のために、必ずしも大きさに応じた分離ができるとは限らない。

多環芳香族化合物は、芳香環が多くなればなるほど、蒸気圧は小さくなる傾向がある。この性質を利用した昇華法によって、ピッチの分別が量的にどの程度可能か、またそれらの分別物がどのような構造的特徴を有するのか、段階的な温度勾配をもつ昇華用炉を作製し検討を試みた。この分別法は加熱する必要があるため、試料が昇華中に分解および反応を起さないよう、あらかじめ昇華温度以上に加熱されたものでなければならない。ここでは、ポリ塩化ビニール (PVC) とアセナフチレン (AC) を 400℃ 5 時間加熱して調製したピッチを試料として用いた。

昇華用炉は、それぞれ独立に温度調節が可能のように、試料加熱部と分離分別用加熱部からなっており、その温度勾配と各析出域は図に示す通りである。このほかに第 5 析出域より室温までの間にも析出物がみられた (この域を第 6 とする) が、種々検討するほどの量は得られなかった。

昇華析出率は、温度一定にすれば真空度によって影響を受けるが、PVC ピッチの場合最終到達真空度を  $5 \sim 6 \times 10^{-3}$  Torr, AC ピッチの場合  $3 \sim 4 \times 10^{-3}$  Torr にすることによって、それぞれ 43~45% および 59~61% の再現性のよい昇華析出率が得られた。

以上のような実験条件での、既知多環芳香族化合物の昇華結果は、表に示す通りで、各析出物の組成は連続的に変化していることがわかる。



縮合多環芳香族炭化水素の昇華

析出域	析出炭化水素
2 - 高 <sup>a)</sup>	ピオラントレン <sup>d)</sup> (A)
2 - 低 <sup>b)</sup>	オバレン, <sup>e)</sup> デカシクレン, <sup>f)</sup> ピオラントレン(A)
3 - 高	オバレン, デカシクレン
3 - 低	オバレン, ピオラントレン(B)
4 - 高	ピオラントレン(B)
4 - 低	コロネン <sup>g)</sup>
5 - 高	コロネン, <sup>h)</sup> 1,12-ベンゾペリレン <sup>i)</sup>
5 - 中 <sup>c)</sup>	ペリレン, <sup>j)</sup> 1,12-ベンゾペリレン
5 - 低	ピレン, <sup>k)</sup> アントラセン <sup>k)</sup>
6	ピレン, アントラセン

a): 高温域  
b): 低温域  
c): 中温域

ACピッチの場合、析出物は第 2 および第 3 析出域で、全析出物の約 95% を占め、紫外可視吸収スペクトルの結果、これらの主成分はデカシクレンであることがわかった。また、より低分子成分が析出する第 4, 5 析出域は約 5% で、第 4 析出域からは 10, 11-ペリーナフチレンフルオランテンが同定された。一方、昇華残留物の平均分子量は 860 で、顕微鏡観察の結果、かなりの部分がメソフェーズ化していることがわかった。

PVCピッチの各析出物について検討した結果、平均分子量は第 1 析出物が最も大きく 790 で、最も小さい第 5 析出物は 310 であった。また第 2, 3, 4 はそれぞれ 600, 500 と 400 であった。一方、昇華残留物は第 1 析出物より平均分子量は小さく 730 で、元素分析の結果を考えると、それぞれ構造的に異なっていることが予想される。各析出物の NMR 測定の結果より各析出物の平均芳香環数を計算してみたところ、最も大きいのは第 3, 4 析出物の 7 で、より高分子側の第 1 および第 2 は、それぞれ 4 と 5 であることがわかった。これらのことから、第 1 および第 2 析出物は 4~5 の芳香環を有する芳香核が 2~3 個連なったものが平均的な構造であり、第 3 および第 4 は、平均環数を有する芳香核に、いくつかの脂肪族側鎖がついたものが平均的な構造であると考えられる。また昇華残留物は、その赤外線吸収スペクトルの結果、昇華析出物より一層芳香環が発達していることがわかった。

PVCピッチについては、380℃と 415℃で処理したものについて同様な検討を加えた結果、その加熱過程で興味ある構造変化を示すことがわかった。

## T型五酸化ニオブの結晶構造

T型五酸化ニオブ ( $T\text{-Nb}_2\text{O}_5$ ) は水酸化ニオブを600~900℃程度の比較的低い温度に加熱することによって得られるので、Brauer (1941) によりT型 (Tiefform: 低温型) と命名されたものである。T型を更に高温に熱すると最終的にはH型変態が得られるが、この変化は常圧下では不可逆的である。H型変態の構造はGatehouseおよびWadsley (1964) によって解析されている。T型の構造は決定されておらず、粉末回折パターンの似ていることから $\beta\text{-Ta}_2\text{O}_5$ と同型であろうと推定されているのみであったが、当研究所第9研究グループは同グループにより得られたT型が高温高压安定相であるとの知見に基づき、高純度の $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 試薬を白金カプセル中で20kbarの圧力下に1800Kまで加熱した後徐冷することにより約0.1mmの大きさの単結晶を得ることに成功し、これを用いて結晶構造を決定した。X線回折強度の測定および構造解析の計算は当所においてそれぞれ四軸型単結晶自動回折装置および中型電算機を用いて行なった。

$T\text{-Nb}_2\text{O}_5$ 結晶の空間群は $Pbam$ 、格子定数は $a=6.175$ ,  $b=29.175$ ,  $c=3.930\text{\AA}$ であるが、 $a'=a$ ,  $b'=b/8$ ,  $c'=c$ のC格子を形成するサブセルの存在が顕著に認められる。単位胞中16個のニオブ原子の位置は超格子反射のみによるパターン関数によって決定された。ニオブ原子のみを仮定して計算したD合成から単位胞中に42個の酸素位置が存在し、しかもその占有率には差が認められないという結果が得られたが、これらの酸素位置が完全に占められているとすれば単位胞の組成が $\text{Nb}_{16}\text{O}_{42}$ となって五酸化物よりも酸素過剰となるので、実際は $\text{Nb}_{16}\text{O}_{40}$ □<sub>2</sub>のような欠陥構造をとって空孔が無秩序に分布しているか、あるいは $\text{Nb}_{16.8}\text{O}_{42}$ となって単位胞につき0.8個のニオブ原子がどこかに侵入しているかのいずれかである。D合成の結果を再度吟味したところ酸素のピークの他にいくつかのきわめて小さいピークが発見された。これらが偽のピークでないことは $\text{Nb}_{16}\text{O}_{42}$ を仮定したD合成および普通の電子密度分布によって確認され、しかもこれらのピークの電子密度の和がほぼ単位胞中0.8個のニオブ原子に相当するところから、単位胞は $\text{Nb}_{16.8}\text{O}_{42}$ を含むものと結論した。密度の計算値 $5.236\text{gcm}^{-3}$ はH型結晶のそれ ( $4.55\text{gcm}^{-3}$ ) よりもはるかに大きく、T型が高温高压安定相である事実とよく対応している。R因子の最終値は0.054であった。

$T\text{-Nb}_2\text{O}_5$  および比較のために $H\text{-Nb}_2\text{O}_5$  の構造を図

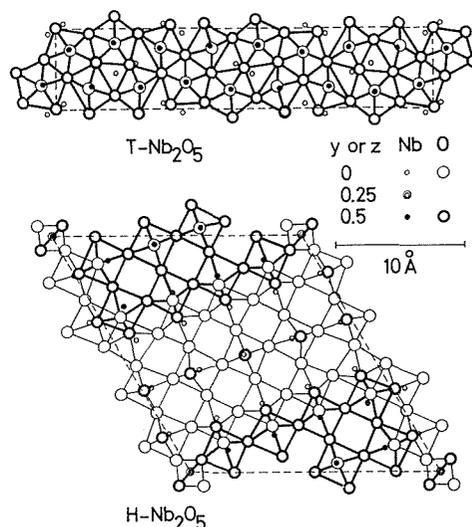


図1 T型およびH型 $\text{Nb}_2\text{O}_5$ の構造のそれぞれc軸およびb軸に平行な投影図。T型におけるNbのZ座標は近似値である。

1に示す。H型の構造が $\text{NbO}_6$ の八面体を頂点または稜の共有によって結合することにより構成され、例外的に八面体どうしで共有されない酸素が形成するあき間に4配位のニオブが入ったものであり、五酸化ニオブのその他の変態および五酸化物に近い不定比酸化物の構造も $\text{NbO}_6$ の八面体を基本単位と考えることができるようなものであるのに対し、T型結晶中のニオブ原子は、五角両錐型7配位および7配位に近い歪んだ八面体型6配位の位置にある。過剰な0.8個のニオブ原子は図中で白い小円で示した9配位の位置を無秩序に占めている。酸素原子の配列もH型のそれとは異なり、全体として密に充填された構造となっている。

$T\text{-Nb}_2\text{O}_5$ と同型であるとされていた $\beta\text{-Ta}_2\text{O}_5$ の構造は一連の $\text{Ta}_2\text{O}_5\text{-WO}_3\text{-}(Al_2O_3)$ 系の混晶のそれとともにStephensonおよびRoth (1971) によって解かれた。上記の解析により $T\text{-Nb}_2\text{O}_5$ がこれらと同系列に属することが確認されたが、 $\beta\text{-Ta}_2\text{O}_5$ とはb軸の長さが異なる。格子定数がT型のそれとほぼ等しい $45\text{Ta}_2\text{O}_5\cdot Al_2O_3\cdot 4WO_3$ の構造では16個の金属原子位置にTa, WおよびAlが無秩序に入るが、酸素は42の位置のうち特定の2個が秩序的に欠けていとされている。

# 高 温 実 験

非金属無機材質には融点が高く耐熱性に優れているものが数多く知られているので、高温で使用する材料には従来から非金属無機材質が広く使われている。無機材質の研究では一般に高温における合成や単結晶の育成などが必要で、特に高温炉は欠かすことのできないものである。また材質の合成のみならず、高温(におけるままの)状態での構造や性質の解析には、それぞれの目的に応じた高温炉が使用されている。

物質を高温に加熱すると 4,000~5,000℃ でほとんどの分子は分解してしまい、化学合成反応などは行なわれ難い状態となる。従来の化学的な扱い方ができるのはおよそ 2,000℃位までで、一般的な無機材質の高温実験もこの範囲までのものが多い。この程度の高温でさえも、物質の状態あるいは反応などには未解の分野が多く、学問的にも実用的にも高温における研究をすすめる必要がある。

無機材質に関する高温実験の中には高温反応で合成するものや粉体の焼結、焼成などのほか、熔融状態からの単結晶の育成とか、帯状精製などがあり、いずれも高温炉が普通に用いられている。

一方、材質の高温における状態を、その温度のまま調べることは、材質の性質を知る上で重要であるが、高温における観察や測定には技術的な困難が伴われる。そのため、試料によっては加熱後室温まで急冷してその状態を調べる方法が用いられている。しかしこの場合急冷しても高温のままに状態が保たれる物質でなければ有効ではない。いろいろの急冷法の中で、珪酸塩類を中心とした酸化物の相平衡の研究が古くから有名である。この実験では、細かい白金線につるした試料を電気炉中で加熱した後、白金線に電流を通じて焼き切り、試料を炉の下に置いた水銀の中に落して急冷する方法が行なわれている。

物質を高温の状態のまま観察し測定するためには、高温顕微鏡、高温 X線解析装置や、熱分析をはじめとするいろいろな物性測定装置がある。これらの機器には市販のものも多いが、非常に精密な観察、測定機器の中に高温炉を組み込むため、高温の発生により観察や測定が妨害されるので、それぞれの場合の目的に応じてくふうがされている。

高温炉を用いていろいろな無機材質に関する実験を行なう際には、材質が雰囲気強い影響を受け、また炉材や発熱体との反応性が問題となることが多い。一般に高温炉を用いて実験を行なうには、(I)高温の発生、(II)

高温の測定、(III)高温の保持を考えなければならない。

## 高温の発生

試料に高温を発生させるためには、電気的な方法、輻射などによる方法、化学反応を用いる方法などがある。それぞれに得失があるが、研究用実験用の高温炉としては電気抵抗炉が最も広く用いられている。これは他の方法に比べて取扱いが便利であって、温度の制御がしやすく、精度をあげる実験に適しており、さらに小さな細工も比較的容易であることに原因している。しかし抵抗炉は発熱体に通電する間接加熱方式であるため、発熱体の材質によって得られる温度に限度があり、また発熱体自身も雰囲気の影響を受け、反応を考慮しなければならない。

現在使用されているいろいろな抵抗発熱体を表に示したが、空気中あるいは酸化雰囲気中で高温で長時間加熱

名 称	組 成	最高炉温度	主な、使用出来ない雰囲気
クロメル	Ni-Cr系	1,200℃	
ニクロム	Ni-Cr系	1,100	
カンタル	Fe-Cr-Al	1,350	
白金	Pt	1,500	水素
ロジウム	Rh	1,900	
モリブデン	Mo	2,100	酸化性
タンタル	Ta	2,200	酸化性、水素
タングステン	W	2,800	酸化性
イリジウム	Ir	2,300	酸 素
炭化珪素	SiC	1,600	
珪化モリブデン	MoSi <sub>2</sub>	1,700	
黒 鉛	C	3,300	酸化性
ジルコニア	ZrO <sub>2</sub> + CaO	2,400	
クロム酸ランタン (ランタンクロマイト)	またはY <sub>2</sub> O <sub>3</sub> LaCrO <sub>3</sub>	1,800	

できる発熱体に良いものがない。この目的には現在安定化したZrO<sub>2</sub>やLaCrO<sub>3</sub>などが使用されているが、いずれも高温では発熱体の組成の一部が分解し蒸発するため長時間の使用に耐えない欠点がある。酸化雰囲気でも安定して使用できる高温材質の開発は、単に発熱体としてのみならずいろいろな方面での大きな問題である。

電気的な方法にはさらに高周波誘導加熱炉、アーク炉、プラズマ炉などがあり、いずれも条件によっては3,000℃程度以上の温度が得られるので、最近では広く使用されている。

光の輻射あるいは加速粒子などによる加熱方法としては、電子ビーム炉、太陽炉、アークイメージ炉、などが

あり、いずれも3,000~5,000℃あるいはそれ以上の高温が得られる。いずれも特徴があり実用化もされているが、まだ一般にはそれほど広く使用されてはいない。

ガスを混合して反応させる高温炉の炉としては、酸素水素炉(約3,000℃)、酸素アセチレン炉(3,000℃以上)、フッ素水素炉(約4,300℃)などの炉がある。ガス炉は高温が得やすく、工業的には広く用いられているが、精密な温度や雰囲気制御を要する高温実験用の炉としては問題が多い。

#### 温度測定

試料を加熱しても正確な温度が得られなければ研究としての意味がうすく、また温度を制御してよい試料を作ることはできないが、高温になるほど温度測定はむずかしくなる。

温度の標準としては高温では銀の凝固点(960.8℃)、金の凝固点(1,063℃)があり、それ以上は第二次定点として、Cu(1,083℃)、Ni(1,453℃)、Co(1,492℃)、Pd(1,552℃)、Pt(1,769℃)、Rh(1,960℃)、Ir(2,443℃) W(3,380℃)の融点を用いられる。

高温の測定で最も便利なのは熱電対による方法で、アルメルークロメル(500~1,200℃)、Pt-PtRh(1,800℃位まで) W-Ir(2,000℃位まで)、Ir-IrRh(2,000℃位まで)、

W-Re(2,700℃位まで)などが用いられている。しかし2,000℃以上になると熱電対の保護管が導電性となるなどの困難がある。最近炭化物などによる新しい型式の熱電対が考えられている。また、高温の測定は光高温計や二色高温計などを使用し、完全黒体の放射の式から計算して求めるが、高温ではかなりの誤差が入る。

#### 高温の保持

熱が外部へ容易に移動しては炉の温度が昇らないので、耐熱性で断熱性のあるものが炉材として使用される。また試料容器あるいは支持台などには高温に耐え反応性のないものが必要である。高融点物質の中で断熱性が高く、電気絶縁性、化学耐食性などの点から、炉材あるいは容器などにはAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、MgO、BeO、ZrO<sub>2</sub>、TiO<sub>2</sub>、ThO<sub>2</sub>などの酸化物、SiC、TiCなどの炭化物、BN、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>などの窒化物のほか、硼化物、珪化物、硫化物、珪酸塩類などが用いられている。

近年のMHD発電、宇宙航空技術、原子炉などの新しい分野の研究からは各種の高温耐熱性の材質が開発されている。これらの材質の研究成果はさらに広い範囲の科学技術の進歩をもたらすもので、基礎的な材質研究の発展が望まれる。

## — 外部発表 —

### ※ 投 稿

表 題	発 表 者	掲 載 誌 等
酸化バナジウムの合成法と物性	大島弘哉	エレクトロニク・セラミクス 4 9 23 (1973)
Preparation of Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> by Vapor-Phase Reaction	木島式倫・瀬高信雄 石井紀彦・田中広吉	J. Am. Ceram. Soc. 56 6 346 (1973)
Synthesis of PbZrS <sub>3</sub> at High Pressures	山岡信夫	J. Am. Ceram. Soc. 55 2 (1972)
Electrical Conduction and Phase Transition of Copper Sulfides	岡本公彦・河合七雄	J. Appl. Phys. 12 8 1130 (1973)
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> -C-N <sub>2</sub> (1atm)系における窒化珪素の分解温度	猪股吉三・井上善三郎	窯業協会誌 81 10 441 (1973)
Magnetic iron sulfide of the γ-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> type	山口成人・和田弘昭	J. Appl. Phys. 44 4 1929 (1973)
水酸化物由来BeO粉末の表面構造	池上隆康・森 泰道 松田伸一・鈴木弘茂	窯業協会誌 81 10 407 (1973)
Hydrothermal and Flux Growth of Cassiterite (SnO <sub>2</sub> ) Crystals	藤木良規・鈴木淑夫	J. Japan Assoc. Min. Petr. Econ. Geol. 68 9 277 (1973)
Positron Annihilation in Single Crystalline Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	津田惟雄・千葉利信 三橋武文	J. Phys. Soc. Japan 35 4 1108 (1973)
Hall Mobility in SnS <sub>2</sub> Single Crystals	石沢芳夫・藤木良規	J. Phys. Soc. Japan 35 1259 (1973)

※ 口 頭

題 目	発 表 者	学 ・ 協 会 等	発 表 日
光学顕微鏡による微小高低差の検出と測定	小 松 啓	菱光展	11月 8 日
海水マグネシアの初期熱分解反応	高 宮 陽一・田賀井秀夫	日本學術振興会 第124委員会	11月 9 日
ダイヤモンド表面吸着ガスの昇温脱離スペクトル	松本精一郎・佐藤洋一郎 瀬 高 信雄	熱測定研究会	11月14日
真空昇華分別法によるPVCピッチの加熱過程の検討	加 茂 睦和・神 田 久生 佐藤洋一郎・瀬 高 信雄	炭素材料研究会	11月19日
PVCピッチの分子量測定	佐藤洋一郎・神 田 久生 加 茂 睦和・瀬 高 信雄	炭素材料研究会	11月19日
$\alpha$ -ベンジルジオキシムおよび4-メチルピリジン複合配位子錯体としての鉄(II)の溶媒抽出-吸光光度定量	永 長 久彦	日本分析化学会	11月23日
金属ヘキサボライド(MB <sub>6</sub> )のX線光電子分光	青 野 正和・河 合 七雄 河 野 省三・奥 沢 誠 佐 川 敬	日本物理学会	11月25日
ZnS中のMn発光中心の共鳴ラマン効果Ⅱ	江 良 皓・葛 葉 隆	日本物理学会	11月25日
真空昇華法によるピッチ類の分別	加 茂 睦和・神 田 久生 佐藤洋一郎・瀬 高 信雄	日本分析化学会	11月25日
遷移金属酸化物中の陽電子消滅と電子構造	津 田 惟雄・千 葉 利信 君 塚 昇・野 口 正安	物性研短期研究会	11月26日
V <sub>3</sub> S <sub>4</sub> およびV <sub>5</sub> S <sub>8</sub> の結晶構造	川 田 功・中野みつ子 佐 伯 昌宣・中 平 光興	日本結晶学会	12月 8 日
アルミナの電子回折による研究	山 口 成人	窯 業 協 会	12月10日
耐熱および熱電子放射材料としての希土類ホウ化物の将来性	河 合 七雄	エコノミストセミナー	12月17日

★ M E M O ★

運 営 会 議

12月10日、第46回運営会議が「研究グループとの懇談」の議題で開催された。

研 究 会

硼化ランタン研究会(第3回)、11月1日、「プラズマ化学の現状その他」の議題で開催され、討論が行われた。

ガラス状態研究会(第5回)、11月13日、「ガラスの電気的性質について—電子技術総合研究所 並河洋氏、ガラスの生成について—東京工業大学 境野照雄教授」の議題で講演が行われた。

不定比化合物研究会(第10回)、11月29日、「遷移金属化合物の不定比性について」の議題で開催され、討論が行われた。

最近の出版物

無機材質研究所研究報告書 第4号  
—窒化アルミニウムに関する研究—

無機材質研究所研究報告書 第5号  
—硫化鉄に関する研究—

無機材質研究所研究報告書 第6号  
—鉛ペロプスカイトに関する研究—

無機材質研究所年報 昭和47年度

発 行 日 昭和49年2月1日 第25号

編 集 ・ 発 行 科学技術庁無機材質研究所

NATIONAL INSTITUTE FOR RESEARCHES IN INORGANIC MATERIALS

〒 300-31 茨城県新治郡桜村大字倉掛

電 話 0298-57-3351