研究

α -Fe₂O₃ 焼結体における負性抵抗, 導電

スイッチングおよびメモリー効果 (Ⅱ)*

宮本 正章**, 鈴木 哲雄***, 金田一真澄**
篠原 旬一**, 三田 洋二**

Masaaki Miyamoto, Tetsuo Suzuki, Masumi Kindaichi, Junichi Shinohara and Youji Mita: Negative Resistance, Conductive Switching and Memory Effect in α -Fe₂O₃ Ceramics (II).

A series of phenomena have been encountered by implying negative resistance, conductive switching and memory switching effects in the sintered α -Fe₂O₃ with the conductive path formed by electrical breakdown. In the conductive path, are always seen some cracks perpendicular to the current flow direction which seem to play an important role for the memory switching phenomena. The variation of the phase in the path, however, has not been detected by a direct method. To clarify the role of the path or its cracks, several kinds of samples were subjected to the measurements of their electrical properties accompanied by the successive cycles of heating and cooling. It was recognized that Fe₃O₄ samples quenched from the temperature over the region of the dissociation of α -Fe₂O₃ showed the same properties as switching samples'. The formation of conductive path, its construction, and their role have been discussed. In the conductive path some α -Fe₂O₃ can be partially reduced to Fe₃O₄ and the origin of the memory switching effects may be due to the reoxidized layer around the contact in the crack.

(Received April 16, 1975)

I 緒 言

α -Fe₂O₃ を主成分とする焼結体は, 電気的フォーミングを行なうと, 結晶内あるいは表面に直径 100 μ 程度の導電路を形成し, 負性抵抗, 導電スイッチング, メモリー効果を示すようになる。導電路の形成は空気中で起こり, 大電流通電中 (on 状態) においては導電路において発光が見られ電流がその部分を流れていることがわかった。更にしきい電圧 V_{th} の低下または抵抗の減少 (メモリー状態) は空気中でも室温ならば長期間保存されることがわかった¹⁾。これらの機構を知る上で導電路の成因と構造等についてまず調べる必要がある。前報ではこの導電効果が, 測定雰囲気酸素分圧および温度に対してはっきりした相関を示し, α -Fe₂O₃ 以外の添加物や電極金属はこの効果の根本的な原因でないことを述べ, さらにフォーミング時の高温のために α -Fe₂O₃ が分解して生じた Fe₃O₄ が導電路を形成している可能性について考察した。Fe 系酸化物における導電路は母体との酸素含有量の差によって生じているという考え方が普遍的であり, たとえば Cu を添加した Fe₂O₃, Si を添加した YIG, NiFe₂O₄²⁾ 等の導電現象においてその可能性が論じられ

ている。しかし, 導電路が非常に微細であり, 電流加熱等のためその表面が再酸化皮膜で包まれているであろうなどの理由で, 筆者等の場合も現在のところまだ Fe₃O₄ の検出がなされていない。ここでの導電路には低抵抗の on 状態, メモリー状態, 高抵抗の off 状態があり, これらについてそれぞれ原因となる何らかの構造変化を考えねばならない。導電路の顕微鏡的観察によると, 電流方向に直角に亀裂が存在しており, 通電時の発光をみるとこの亀裂部分に電界が集中していることがわかる。そこで筆者等は, 導電路は低抵抗状態 (Fe₃O₄) であり, これに亀裂が直列的に入って高抵抗層を形成している構造であると推定し, さらにこの高抵抗層部分での酸素含有量の熱的平衡, 急冷による凍結が V_{th} の変化やメモリーに対して重要な役割を演じていると考えた。同様のことが結晶粒界でも起こりうるが, 導電特性が外部の酸素分圧の変化と比較的速く対応することから亀裂部分に再酸化による高抵抗層が存在するということが最も考えやすい。

* 昭和49年11月本協会秋季(岡山)大会にて発表, 昭和50年4月16日受理。

** 早稲田大学理工学部, 〒160 新宿区西大久保4-170。

*** 日本電信電話公社。

そこでここでは, あらかじめ熱的変態を起こさせた焼結体を作製し, その示す熱履歴現象に対して実際の導電路と比較する試みを行なった. その結果 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 焼結体を 1400°C 以上に加熱した後急冷した試料はフォーミングにより形成した導電路と全く類似の特性を示すこと, フォーミングすることなしに負性抵抗, 導電スイッチングを示すことなどがわかった. このことから $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 焼結体の導電路について, その成因, 構造についてのモデルを考えることができたし, またその考えに従って Fe_3O_4 の接触部分で全く同じ導電スイッチング現象を観察することもできた. 本論文では以上の対比実験を中心にして導電スイッチングの生因について議論を行なうものである.

II 実験方法

本実験ではフォーミングによる導電路の形成が, $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ の空気中での加熱による結果と考えたので, フォーミング前の母体である $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 焼結体を空気中で高温熱処理後急冷し, その導電特性および熱履歴現象について, 実際の導電路との間にどのような類似性があるかを調べることを主な目的とした. 混乱を避ける意味から主な実験においては添加物は加えないで行なった.

II-1 試料

原料は純度 3n の $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, Fe_3O_4 粉末を用いた. 各試料は直径 10 mm, 厚さ 1~2 mm の錠剤型のもので, 急冷は室温の CCl_4 中に各温度から 1 秒以内で行なった.

各試料の名称および内容を Table 1, Photo. 1~4 に示す. また Q 試料は種々温度から急冷したが, 十分低抵抗化の起こった 1450°C から急冷したものをを用いた.

II-2 電気的測定

電極は高温, 低温用銀ペースト, In-Hg アマルガムを使用し各試料および測定条件に応じて電極部分での抵抗を最小となるよう考慮した. 抵抗測定は直流定電流電源, 真空管式電圧電流計, エレクトロメーターを用いた. 測定雰囲気は窒素あるいは空気であった. スwitchングはシンクロスコープ, XY レコーダーを用いて観測した.

III 実験結果および考察

III-1 抵抗温度特性 ($\log R$ - $1/T$)

(a) H 試料および SW 試料

H 試料については導電率の対数と絶対温度の逆数の関係が直線で, これは高純粋な $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 以外の通常の多結晶体に見られる特性である³⁾. 伝導は n 型で電流電圧特性はオーミックであった. また繰り返し測定を行っても同じ直線を繰り返し, 再現性は良かった. この試料の表面にフォーミングにより導電路を形成させた後には, 電流電圧特性は電極にかかわりなくノンオーミックとなり, 低温の部分では測定電流に対して抵抗値は大きく変わる. 試料をメモリー状態にして $0.1\mu\text{amp}$ と 1mamp について電流一定として抵抗測定を行なった. Fig. 1 は H 試料および測定後の同一試料に導電路を形成した SW 試料の示す抵抗の対数 ($\log R$) と絶対温度の逆数 ($1/T$)

Table 1 Samples used for experiments.

Name of samples	Preparing procedure	Phase obtained by X-ray diff. method.	Microscopic observation
H-sample	Hematite ceramics sintered at 1150°C and slow cooled after annealing at 1000°C for 10 hrs. in air.	Single phase $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$	Photo. 1.
Q-sample	Samples obtained by quenching of H-samples after sintering at 1450°C for 1.5 hrs. in air.	Two phases Fe_3O_4 $\gg \alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$	Photo. 2. (with pores and cracks)
SW-sample	H-samples treated with the electrical forming.	Two phases $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (matrices) ? (path)	Photo. 3. (with cracks in the path)
M-sample	Magnetite ceramics sintered at 1300°C and slow cooled in N_2 .	Single phase Fe_3O_4	Photo. 4.
A-sample	Samples obtained by slow cooling of H-samples in N_2 after sintering at 1550°C for 1.5 hrs. in air.	Two phases Fe_3O_4 $\gg \alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$	(Porous)
Me-sample	Samples obtained by quenching of H-samples after melted in air.	Two phases Fe_3O_4 $\gg \alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$	(Porous)

(×200)

Photo. 1 Microstructure of H-sample.

(×200)

Photo. 2 Microstructure of Q-sample.

(×200)

Photo. 3 Microstructure of SW-sample.

(×200)

Photo. 4 Microstructure of M-sample.

の関係で, 室温から 1100 K までの温度上昇および下降時の測定である。温度変化は 800°C/hr で行なった, SW 試料では H 試料に比べて直線の傾きが非常に小さくなり, 電流の差によらず温度上昇とともになだらかな抵抗の減少を示し, 650 K 付近でわずかな増加をした後, さ

Fig. 1 Log $R-1/T$ characteristics of H-sample (before forming) and SW-sample (after forming). SW-sample shows I-V non-linear characteristics in the temperature range between R.T. and nearly 650 K, but H-sample doesn't show the same characteristics. After cooling from the maximum temp. of 1100 K "Off state" appears. (0.1 μA).

らに高温になるとフォーミング前の H 試料の道すじを通して抵抗が急激に減少する。この部分からは導電路の抵抗値が母体の抵抗値と同程度かあるいは若干大きくなるため, 導電路のみの特性は観測されていないと考えられる。すなわち抵抗の小さい細い導電路と, 比抵抗の大きい断面積の大きい母体の並列的な結合があり, 両者の抵抗値の温度変化により 650 K 付近から母体の抵抗値が小さくなることを示している。従ってこの温度より低い範囲の抵抗が導電路自身のものであると考えられる。この実験での最高温度 1100 K から温度を下降させると, 図のように 1 m amp の測定では出発時よりも幾分高い抵抗側にずれ, 0.1 μ amp の測定ではフォーミング前の状態に近づくことが観察された。1 m amp の測定抵抗は on 状態に相当し, 0.1 μ A の測定値は off 状態の出現に相当する。これははじめのメモリー状態の消去を表わすものと考えられる。この off 状態は上述の並列の考えから見かけ上は初めのヘマタイトの抵抗と同じ程度になる。同様な測定を窒素中, アルゴン中で行なうとほぼ同様な特性を示した。この場合には温度上昇とともに見られるわずかな抵抗増加は 720 K 程度より高温になって見られ, その後は空気中と似た振舞を示した。しかしながらこの場合, 測定後の 0.1 μ amp の抵抗は空気中での結果より低く, 幾分メモリー状態を残していることがわかった。このことは, 高抵抗化(メモリー消去に相当する)の機構が酸素分圧の変化によって異なることを意味している。

(b) Q 試料, M 試料その他

Q 試料に対する log $R-1/T$ 特性は, Fig. 2 のような様子を示す。この特性は 1400°C 以上の急冷試料に対して

Fig. 2 Resistance change of Q-sample in air and in N_2 . After cooling from the maximum temperature of 1100K in air, non-linear resistance appears.

はいずれも同様なパターンを示した。空気中では 1100 K までの温度上昇のあと温度下降とともに抵抗が増加し、600 K 付近以下の温度になると電圧電流非直線性を示すようになり、室温での抵抗は出発時の抵抗に比べて 6 桁程度増加する。同様の測定を窒素中で行なった場合には測定後の抵抗増加が見られないため、この増加は酸化による高抵抗化であると考えられる。この試料は上下面に電極を塗布した形状であるが、亀裂やポア部分が多く、酸化が進行したと考えられる。また高温から温度を下降した場合、直線の傾きが 600 K 以下で小さく、SW 試料のメモリ状態とかなり類似している。特に電圧電流非直線性についてはその割合が全く同程度となることがわかった。すなわち、酸化により生じた部分での電導とスイッチング試料の電導の類似性がみられた。

さて A 試料において同様な測定を行なうと、Q 試料と同様に測定後に全く同じ高抵抗化が起こり急冷時に入るクラックの有無にかかわらず酸化が進行し、高抵抗化が起こることがわかった。この試料は高温での酸素脱出によると思われる多くのポアを有しているの、このポアが存在により酸化が促進されていると思われる。また Me 試料にも同様な高抵抗化が起こったが、Q 試料に対しては溶融による特別の効果は見られなかった。

次に M 試料については空気中で測定した場合にも高抵抗化は観察されなかった。このことはポアや亀裂のない場合には、通常のグレインバウンダリーが存在してもこの実験の時間、温度範囲では内部まで酸化は進まず、抵抗変化に影響を与えなかったと解釈される。以上から空気中で Fe_2O_3 の熱分解が起こり Fe_3O_4 が出現して低抵抗化した試料は、再酸化により高抵抗となり、その結果電圧電流非直線性を示すことがわかった。

III-2 抵抗の温度履歴および熱処理効果

次に温度上昇後の高抵抗化についてはどのような履歴

Fig. 3 Program of successive cycles of heating and cooling for measurement of resistance change. Heating and cooling rate is approximately 800°C/hr. Keeping time at each temperature ($T_1, T_2, \dots$) is 15 min. (Fig. 7–Fig. 10)

現象を示すかを、Q 試料および SW 試料について調べた。温度上昇、下降の速度は 800°C/hr で、最高温度で 15 分間一定温度を保ち、同一試料について測定温度を順次高温にして測定を繰り返した。このプログラムを Fig. 3 に示す。両試料とも室温から 600 K までの温度範囲では $\log R-1/T$ 特性は同一直線を繰り返し履歴現象は見られなかったが、700 K 以上では高抵抗化が現われた。Fig. 4, 5 は Q 試料、SW 試料についての結果である。前項 $\log R-1/T$ 特性での温度上昇に対する 650 K 付近での抵抗増加は、この履歴と関係があると思われる。この結果から両者とも非常に類似の温度履歴を示すことがわかった。各測定回ごとに最高温度にて 15 分間の保持を行なっているが、同一温度までの測定を Q 試料について繰り返した場合にはほぼ一定の抵抗を示した。このことから高抵抗化の割合は、繰り返し回数や保持時間よりも最

Fig. 4 Resistance change of Q-sample on successive cycles of heating and cooling by the program presented in Fig. 3. Constant current 1 mA was used.

Fig. 5 Resistance change of SW-sample accompanied by successive cycles of heating and cooling by the program presented in Fig. 3. Constant current 10 μ A was used.

Fig. 6 Change of room temp. resistance of samples by heating and cooling cycle measurement as a function of maximum temperature of each last cycle.

高温度によって主に決まることがわかった。各測定サイクルの室温における抵抗を最高保持温度の関数としてプロットすると Fig. 6 のようになる。このような現象は外部雰囲気にごく近い表面での現象であると考えられるが⁹⁾、Q 試料においては電流方向に直立的に存在する亀裂やポア部分での酸化皮膜、SW 試料においては導電路に直角に入っている亀裂部分での酸化皮膜が電気抵抗の原因となっており、このようなマクロ的な構造の一致から類似の履歴現象が現われたものと考えられる。

SW 試料、Q 試料のいずれにおいても 650 K 付近以下では空気中における抵抗温度特性が可逆的に繰り返され、この温度以上では不可逆的な履歴を示す様子は、Bavan 等⁴⁾の述べている α -Fe₂O₃ の表面における 683 K からの相変化とかなり近いものであり、また Gardner 等³⁾の粒界の再酸化現象の履歴が 723 K 以下で凍結されるという

こととも関連すると思われる。そして SW 試料や Q 試料においては、表面部分での反応が特性に影響を与えていることや、その表面が熱的歪等による影響で活性化されており、さらに、亀裂、ポアが存在することなどから、より低い温度で高抵抗化が起これと考えることができる。

III-3 M 試料の酸化による高抵抗化とスイッチングモデル

(a) M 試料の酸化

M 試料において酸化による高抵抗化が見られなかったことは、電極が上下面にあり表面の酸化層ができても並列的な抵抗となった結果であり、ポアや亀裂のない場合には酸化は内部までは進行しなかったものといえる。マグネタイトの酸化は酸素の吸着による固/気相界面過程と、Fe イオンと電子の拡散過程の反応であり^{5,6)}、亀裂やポアにより酸素が内部まで達することが前者を進め、急冷等により結晶の不完全性が存在するほど後者の拡散が進められる。そして酸化の進行は第 1 段階と第 2 段階に分けて考えられる。第 2 段階はすべての Fe₃O₄ が α -Fe₂O₃ に酸化する過程で低温ではその進行は非常におそい。第 1 段階はマグネタイト結晶の前歴や水分の存在等によって α -Fe₂O₃ に酸化する場合と γ -Fe₂O₃ に酸化される場合があり^{7,8)}、 α -Fe₂O₃ に酸化する場合には 700 Å 程度の保護的な層を形成する。また γ -Fe₂O₃ に酸化される場合も少量の α -Fe₂O₃ が存在すれば γ 相はすべて α 相となる⁹⁾。筆者等は、III-2 の実験において急冷試料、SW 試料とともに高抵抗化が時間や繰り返しよりも温度によって変わることから、この高抵抗化が主として酸化の第 1 段階に近いものであろうと考えた。また M 試料について熱処理後の表面には α -Fe₂O₃ が検出され、650 K 程度の熱処理では表面酸化層は 10 μ 以下の研磨でとりのぞけることを確認した。これらの酸化皮膜は高抵抗で薄くスイッチング現象を起こす可能性が大きいと考えられる。Q 試料においては α -Fe₂O₃ が微量存在していると推定される。また γ -Fe₂O₃ から α -Fe₂O₃ への変態は、単結晶等のごく表面の微少部分⁹⁾ 以外は不可逆の変態であると考えられる¹⁰⁾。以上から SW 試料、Q 試料における電導現象は α -Fe₂O₃ を主とする酸化皮膜の示す特性であると考えられる。

(b) M 試料のスイッチング現象

上の実験からマグネタイトの表面酸化膜の電導がスイッチングの off, on 両状態を示すと考えられる。そこで、800°C の熱処理後の M 試料の片面の酸化膜を研磨により除去し、電極を塗布したものを 2 個用いて、未研磨の酸化膜同志が合わさるように接触させ抵抗測定を行なった。この場合測定電流が大きくなると初めの高抵抗から低抵抗状態となるが、不安定で一度低抵抗となった後は大電流を流しても再び高抵抗状態は出現しにくいことがわかった。次に M 試料を熱処理せずにスパーサーによ

って $20\mu\sim 40\mu$ の間隔を隔てて対向させて定電流電源にて電圧を印加すると, 1500 V, 10 m amp レンジで初め不安定な放電が起こりその後安定な低抵抗状態となる。電源を除くと再び off 状態となり, 以後不安定な放電は起こらず SW 試料と全く同じ特性を示すことがわかった。この状態では試料間に非常に細い導電路が形成されていることがわかった。さらに二枚の M 試料の間に TiO_2 , ZnO 等の酸化物粉末を塗布して行なうと, 前報¹⁾の混合試料と同じ導電スイッチング現象を示すことがわかった。

ここで直接接触させた場合に一度 on 状態になった後の off 状態の再出現が起こりにくいのは, 接触部分が多すぎるために電流発熱による再酸化が一様に起こらないためと考えられる。すなわちこの SW 現象が非常に微小部分での接触界面で起こっていると思われ, 電気的フォーミングにおいても亀裂部分での接触部分は非常に小さな面積であると考えて良いであろう。この部分でのジュール発熱が酸化を促進して高抵抗化が起こり, それに伴って発熱量が多くなると非常に高温になり再び抵抗の急減が起こり, これがメモリー状態を表わすものと考えることができる。

SW 試料 (混合試料)¹⁾に見られる (空气中) 室温における V_{th} の周期的変動を Fig. 7, 8 に示す。 V_{th} はグラフ中, 各縦線の頂点の値に相当する。 N_2 中では一定の V_{th} を保っているが, 空気中では V_{th} が周期的に変動しているのが観察される。 V_{th} は繰り返しごとに増加して行き, ある値を越えると大きく下がりメモリー状態を示す。またスイッチング直前の off 状態の抵抗値と V_{th} は正の一次の相関を持つことが調べられた。従ってこの V_{th} の変動は酸化皮膜の抵抗変化と対応するものであると考えることができる。

Fig. 7 Typical change of V_{th} (mixed sample)¹⁾ accompanied by switching cycles at room temperature in air. The top of each line shows V_{th} , and at this point, current flowing through the sample is 10 mA.¹⁾ Appearance of clear switching was confirmed with synchroscope on each cycles.

Fig. 8 Typical change of V_{th} accompanied by the ambient gas cycle at room temperature. The periodic change appears after introduction of air.

Fig. 9 Model proposed for switching.

以上の実験から導電路における機構モデルは, Fig. 9 に示すようなものと考えられる。すなわち, 以下のようである。off は再酸化層で電流が遮断されている状態である。on は高電界によって電流が絶縁層を流れる状態である。特にスイッチングの発熱量が非常に大きい場合には, 酸素の脱出が起こり再酸化層の抵抗が下がりこれに伴って V_{th} の急激な低下が起こる。これがメモリーの状態である。

IV ま と め

$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 焼結体に見られる導電スイッチング現象は, 酸素分圧および温度と明確な相関を示すこと, 導電路に電流方向と直角に亀裂が存在することから, 導電路が空气中高温で部分的に還元されて生成した Fe_3O_4 と, その再酸化層で成り立つものと考えた。そして急冷試料に非常に類似の電気的特性とその履歴現象が起こることを見出した。この履歴は空気中では 600 K 以上の温度で顕著であったが, N_2 中では 720 K まではほとんど現われなかった。さらに Fe_3O_4 焼結体上の再酸化膜では off から on へ不可逆的な遷移をするが, 非常に微小部分で接する状態になれば off 状態の再出現が可能なのことがわかった。そしてこのような微小な接触が, 2 個のマグネタイトの間隙に電気的フォーミングで作られることがわかり, 実際に可逆的スイッチングが観察された。また混合試料にみられる特性と全く同じ安定なスイッチング現象も得られることがわかった。結局, 電気的フォーミング過

程は, 非常に微小な面積で接する還元状態の酸化物による導電路の形成を行なうことであることがわかった. このために母体である α -Fe₂O₃ は, 被還元材料であると同時に抵抗および熱媒体としての適当な条件を与える Substratum の役割を果たしていると考えられる. また on 状態の導電は再酸化層での高電界電導と考えられ, こそでのジュール発熱により再酸化の進行や均質化, 酸素の脱着等によって抵抗の履歴現象を示し, V_{th} の周期的変動をもたらすものと考えることができた. 酸化層における導電機構は, 多くの薄膜に関する報告と類似の原因であろうと思われるが, これについては更に研究を必要とする.

なお VO₂ 系多結晶体^{11,12)}等において見られるような適当な添加物による界面での平衡酸素圧の制御, 耐熱衝撃性の増化や酸化物コーティングによる酸化還元割合の調整¹³⁾等はこの現象に対しても有効であると考えられ, 混合試料の添加物の効果は, まさにこの点に影響を与えているということが考えられる.

現在までの実験で導電路の形成についての外観を知ることができた. またスイッチング現象に対してのモデル実験で見られた結果から, 破壊的なブレイクダウンがこのスイッチング現象の発生には必要不可欠なものでないことがわかり, 多結晶体の示す可逆的導電スイッチング

では, 酸化還元による状態変化がメモリーの変化に対応する可能性のあることが示された.

本研究に対して助言いただいた関東学院大学難波典之助教授及び早大電気材料研究室貝田翔二氏, 伊集院八郎氏, また実験を手伝っていただいた研究生諸氏に深謝する.

文 献

- 1) 宮本正章, 鈴木智雄, 金田一真澄, 三田洋二: 粉体および粉末冶金, **21** (1974) 205.
- 2) T. F. Newkirk and G. D. Hedden: Am. Ceram. Soc. Bull., **41** (1962) 281.
- 3) R. F. Gardner, F. Sweet and D. W. Tanner: J. Phys. Chem. Solid., **24** (1963), 1183.
- 4) D. J. M. Bevan, J. P. Shelton and J. S. Anderson: J. Phys. Chem. Soc., (1948), 1729.
- 5) 今岡保郎: 粉体および粉末冶金, **13** (1966) 28.
- 6) U. Colombo, G. Fagherazzi, et al.: Nature., **202** (1964), 175.
- 7) A. Aharoni, E. H. Frei and M. Schieber: J. Phys. Chem. Solids Pergamon Press., **23** (1962), 545.
- 8) I. David and A. J. E. Welch: Trans. Faraday Soc., **52** (1956), 1642.
- 9) G. I. Finch, F. R. S. and K. P. Sinha, Ph.D.: Proc. Roy. Soc. A., **241** (1957), 1.
- 10) De Boer, F. E. and Selwood P. W.: J. Amer. Chem. Soc., **76** (1954), 3365.
- 11) 光石知国: エレクトロニクセラミクス, **5** [2] (1974) 44.
- 12) H. Futaki: Hitachi Rev., **18** (1969), 440.
- 13) R. S. Weisz: J. Amer. Ceram. Soc., **40** (1957), 139.

会 告

シンポジウム「超高真空技術と表面現象」

—— 超高真空技術を身近なものにするために ——

主 催 応用物理学会関西支部
共 催(案) 粉体粉末冶金協会他
期 日 昭和51年11月29日, 30日
場 所 大阪大学工学部, サントリー記念館, メモリアルホール(駐車場有)
吹田市山田上 (Tel 06-877-5111 内線4655)
(阪急千里山線北千里駅より徒歩約15分,
又は地下鉄御堂筋線千里中央駅よりタク
シーで10分(約500円))
定 員 約100名(申込順)
参加費(テキスト代共) 学生1,500円, 会員(共催学会
員も含む) 3,000円, 非会員4,000円
申 込 方 法 葉書又は電話(参加費は当日受付にて, テ
キストと引換えにお払い下さい)
〒565 吹田市山田上
応用物理学会関西支部大阪大学工学部,
Tel 06-877-5111 内線4655
申 込 締 切 申込順に受け, 定員になり次第締切らせて
いただきます。

プログラム

日	時 間	題 目	講 師
11/29 (月)	9:00 ↓ 9:10	御挨拶	支 部 長
	9:10 ↓ 10:50	半導体と表面	三菱電機・ 中研 尾形 仁士
	11:00 ↓ 12:00	粉体の作成と利用	住友電工・研 上条 栄治
	13:30 ↓ 15:00	表面反応の素過程	京都大・理 恩地 勝
	15:15 ↓ 16:45	表面分析機器と応用例	日本真空 柴田 英夫
	9:00 ↓ 10:00	超高真空の原理	阪大・工 堀 輝雄
	10:10 ↓ 12:00	超高真空の作成と計測	島津製作所 花坂 孝雄
	13:30 ↓ 15:00	超高真空装置の実例	日電バリアン 岩本 明
11/30 (火)	15:15 ↓ 16:45	パネル・ディスカッション	司会 堀 輝雄