

金材技研

1982

科学技術庁

ニュース

金属材料技術研究所

ジョセフソン素子用新材料の基礎研究始まる

——創造科学技術プロジェクトに協力——

今から35年前、量子論を基礎にして開発されたトランジスタは真空管に代ってその後のコンピュータの発展を決定的なものにした。更に60年代に入ってはなばなく登場したIC（集積回路）は現在のコンピュータ社会をつくり上げてしまった。地味ではあるが、ICは半導体シリコンと絶縁膜石英という信頼性の高い、すぐれた材料に恵まれて順調に発展した。現代が第2の石器時代と呼ばれるゆえんである。ICが登場してわずか22年、急速に成長したコンピュータの将来には技術上の深刻な問題など一見ないようにみえる。しかし、ICの大幅な性能向上を目指し、シリコンに代る素子の開発がすでに始まっている。

大型コンピュータの心臓部は高度に集積化されたスイッチング素子群である。情報をより大量に、より高速に処理するためには、1億個に及ぶ個々の素子の応答速度を速くするのはもちろんのこと、ICの幾何学的寸法を小さくしなければならない。なぜなら、コンピュータの世界で現在問題となっている時間単位はns(10億分の1秒)の程度であるのに対し、信号の伝播速度は高々光速度にすぎないからである。光は1nsに30cmしか進まず、電子回路の全長が30cm以上になると信号の伝播時間がコンピュータの応答速度を決めてしまうからである。このため、より小さな空間により大量の素子をつめ込まなければならない。

ところが、これらの素子には必ず電力消費があり、ジュール熱の発生を伴う。ICからこの熱を取り除くのは極めて困難であり、発熱量が多いとICはついに破壊してしまう。したがって、開発目標となる新素子は超小形であると同時に消費電力が極めて小さくなければならない。

この条件に対してシリコン素子はすでに限界が見えており、ジョセフソン素子がにわかに脚光をあびてきた。この素子の応答速度は高速半導体の10倍以上、消費電力にいたっては千分の1以下といわれている。ジョセフソン接合素子は二枚の超電導金属膜の間に厚さがわずか数十Å(原子が10~20層の厚さ)の絶縁膜をはさんだサンドイッチ構造をしているが、現在のところICのシリコンに匹敵する超電導金属膜、絶縁膜材料が見出されていない。これがジョセフソン接合素子実用化のネックとなっている。このあい路を打開するため、当研究所では創造科学プロジェクトに協力すると

同時に、57年度から3年間の子定でジョセフソン接合素子新材料開発のため基礎研究に取り組んでいる。

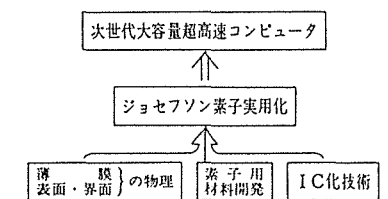


図 次世代大容量超高速コンピュータを実現する際、最も大きな壁はジョセフソン素子用材料の開発である。

ジョセフソン素子用新材料の問題点と研究課題

——マイクロメタラジ—の確立へ——

ジョセフソン接合素子は図のような構造をもつトンネル素子である。トンネルと呼ばれるのは、絶縁膜があまりにも薄いため、電子がCからAへ通りぬけるからである。ジョセフソン素子がコンピュータの論理・メモリ素子として使用できるのは、実はこのトンネル電子に超電導状態のまま通りぬける場合と、常電導状態で通りぬける場合と二つの状態があるためである。

現在この素子用材料としては、鉛系とニオブ系の合金が用いられている。鉛系は強度と化学的安定性の問題を、ニオブ系は高融点で活性な金属であるという材料本来の問題をかかえている。さらに、信頼性の高い極薄絶縁膜材料も見出されていない。また基板温度を余り上げることなく、良質の超電導遷移金属膜を作る技術も確立されていない。基板温度に制約があるのは、素子の集積化に際して、有機物であるフォトリソストを用いるためである。

ジョセフソン素子用材料の開発には、以下に述べる条件に留意しなければならないといえる。

i) 超電導金属膜は十分な強度をもち、かつ化学的に安定であること。強度は室温と液体ヘリウム温度間の温度変化による熱歪みに耐えうる大きさでなければならない。実用化に際しては保守用パーツを確保することが不可欠であり、素子の特性は10年間程度室温に放置しても性能劣化があってはならない。

ii) 高融点金属の場合、基板温度を上げることなく良質の膜ができること。

iii) 集積化を達成するため、金属膜は $1\mu\sim 2.5\mu$ のスケールで微細加工できること。

iv) 良質のトンネル障壁用絶縁膜が存在し、その成膜に際しては膜厚を $50\text{\AA}\pm 2\text{\AA}$ 程度にコントロールできること。

v) 超電導金属膜と絶縁膜との間の密着性が十分であること。これは素子の機械的強度を確保すると同時に、電気的特性をそろえるために必要である。

vi) 50\AA 程度の膜厚を測定する技術と極薄膜の組成分析技術を確立すること。

vii) 表面、界面のキャラクタライゼーション。 50\AA から 2.5μ のスケールになると、バルクに対して表面、界面、粒界に存在する原子の割合が無視できなくなるからである。

* * *

i) からvii) に述べた問題点は何らかの形で素子の集積化あるいは薄膜の形成に関係したものである。ここで問題となっている寸法は今迄の冶金学が扱ってきた材料の寸法に比べて6桁以上も小さいことは注目に値する。この種の微細材料の問題を取扱うには共通の考え方、研究手段があるはずであり、マイクロメタラジ—とも呼ぶべき新技術体系の確立が強く求められているといえるだろう。半導体がその全盛を誇っているエレクトロニクスの分野で、ジョセフソン素子こそは金属材料が主流となりうる数少ないケースである。マイクロメタラジ—の確立が待たれるゆえんである。

当研究所ではi) からvii) の条件を満足する材料として、Mo系非晶質遷移金属材料とカルコゲナイド系非晶質材料を選び、その基礎研究を進めている。

最後に一言、金属膜と絶縁膜間の密着性の問題は複合材料の研究と、絶縁膜の成長法は表面被覆技術の研究と、薄膜の組成分析は表面・界面偏析の研究と極めて近い関係にあり、将来、相互の研究協力が期待される。

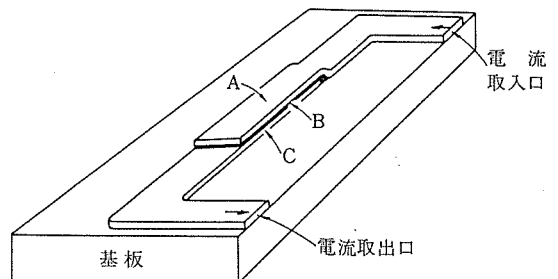


図 ジョセフソン接合素子A, Cは超電導金属薄膜、黒くぬりつぶした薄膜Bは絶縁膜である。基板としてはシリコンの薄膜が用いられる。シリコンは低温で絶縁物と考えてよい。A, CともL字形に描かれているのは図を見易くするためである。主要な部分はA, B, Cが積み重ねられている接合部分である。

材料試験用 高流速ナトリウムループ

本ループは高速増殖炉炉心の液体ナトリウムの模擬環境下で合金の腐食、質量移行などの共存性を調べるための装置である。実験用高速炉の燃料集合体用構造材料に用いられている SUS 316 は中性子の照射による膨張、クリープなどのため、高密度の炉心設計がむずかしく、核燃料の十分な燃焼率の達成が期待できない。このため、SUS 316 に代わる Fe-Ni-Cr、Fe-Cr 系などの新合金が考えられ、これら合金のナトリウム中の共存性の評価、これに基づく合金の選定が必要とされている。現在、このループを用い、直接通電によりナトリウムを加熱し、温度及び流速の最高値をそれぞれ約 700℃、約 5m/秒にして、当所、動力炉・核燃料開発事業団及び鉄鋼メーカの試作合金について実験中である。(原子炉材料研究部)

バーナ・リグ・テスター による評価試験

当研究グループでは高効率ガスタービンの研究開発の一環として優れた高温強度特性をもつタービン翼材を開発してきたが、今回、これら開発合金も含めて翼材に対するより実機に近い評価を行うためにバーナー・リグ・テスターを購入した。タービン翼は実機では遠心力を受けると同時に、1000℃以上の高速燃焼ガスによって高温硫化腐食を受ける。これは海岸地帯の塩分の多い空気を使って硫黄含有量の多い燃料を燃やす場合、特に問題になる。本試験装置では、これらの環境を模擬するために、硫黄酸化物と NaCl を含む最高温度 1150℃の燃焼ガスをマッハ 0.65 の速度で小型試験片にふきつけ、同時にクリープ試験又は熱疲労試験を行う。(エネルギー機器材料グループ)

極低温用非磁性 高強度ステンレス合金

核融合炉、磁気浮上列車さらに超電導発電機などに使われる超電導マグネットの構造材料は、-270℃の極低温で高磁界のもと、極めて強い応力

を受ける。したがってこの目的に使用される構造材料は極低温下で、(1)強靱、(2)非磁性、さらに、(3)組織が変化しないことなど厳しい条件が要求される。(1)~(3)をみたす最短距離にあるのが窒素などで固溶強化した Fe-Ni-Cr ステンレス合金。ただし窒素で強化した合金は低温で靱性(ねばさ)が低下し、また、(3)が優れたものは強磁性化するなどの問題があった。そこで極低温機器材料研究グループでは Ti による析出強化に着目し、高強度 Fe-Ni-Cr-Mn-Ti 合金を開発して極低温での諸特性を研究した。その結果この合金が最高レベルの強度を有し、しかも靱性に優れ、-270℃でも非磁性であり、(1)~(3)の要件をよくみたすことがわかった。(極低温機器材料研究グループ)

日中共同研究 操業実験始まる

鉄鉱石中のニオブを回収するための中国との共同研究が始まっているが、このたび北京鋼鉄学院教授立合いのもとで第 1 回の操業実験が成功裡に行われ、実質的な共同実験が開始された。この実験は、3 屯規模の炉により種々の製錬条件のもとで引続きおこなわれているが、第 1 回の実験結果から大変見通しが明かるく、遠からず実用化に必要な基礎資料が提出できるものと期待されている。(工業化研究部)

Pt の代りに Ni 融解浴を用いた Zr 及び Ti 合金中の酸素定量

Ti、Zr、V、Nb、Mo、W などの合金中の酸素定量には、浴金属としてすぐれている Pt が用いられ、Zr 合金及び Ti 中の酸素定量法として JIS 法に採用されている。しかし Pt は高価であること、回収費も高いことなどで日常分析には適さない。そこで Pt の代りに入手容易な Ni を融解浴として用いる Zr 合金及び Ti 中の酸素定量法の確立をはかった。

種々の定量条件を検討し、Pt 浴法と一致した良好な結果を得、作業性がよく迅速に定量できる方法を確立した。また本法は W にも適用可能であり、他の高融点金属への適用も検討中である。

(金属化学研究部)

【出願公開発明の紹介】

焼結高マンガン鋼の製造法 特公開55-107756

昭和55年8月19日

本発明は、鉄粉またはその合金粉に1045~1200℃の温度範囲で液相を生ずる組成のFe-Mn-C系合金粉(Mn 60~85%, C 3.0~7.5%)及び必要に応じてCを添加し、Mn 9~20%, C 0.8~2.0%の高マンガン鋼組成の混合粉とし、これを成形、焼結または鍛造し焼結高マンガン鋼を製造する方法である。

従来の電解Mn粉、Fe-Mn系合金粉にかえて上記組成の合金粉を用いれば、液相焼結により合金化が促進されると共に、焼結中のMnの酸化が低減でき、高強度の焼結高マンガン鋼を製造することができる。鍛造し高密度にすると強度は著しく向上し、従来の鍛造材に相当する機械的性質を有する焼結材が得られる。

フラッシュ溶接方法

特公開55-158883

昭和55年12月10日

フラッシュ溶接法は、短絡と溶融金属の飛散とを繰返すフラッシュ過程で材料端部を加熱し溶接する方法であるが、連続したフラッシュの発生は熱損失を増し好ましくない。本発明は、商用周波数の交流波形の各半波の前半を低電圧とした制御電圧を用いるフラッシュ溶接方法で、フラッシュ過程におけるフラッシュの発生回数を必要最小限にとどめ、かつ確実なフラッシュの発生を可能にした。本発明によれば、フラッシュ過程の加熱効率の増大によって、アブセット電流が不要になるなど電力の節減が可能となるほか、溶接部の

高品質化も期待できる。

金属微粒子の製造法

特公開56-9304

昭和56年1月30日

新しい機能材料として注目されている金属超微粒子は、一般に化合物超微粒子の還元や金属の加熱蒸発等によって製造されているが、これらの方法では製造可能な金属超微粒子が限定されたり、製造能力が極めて低いなどの欠点を有している。

本発明は、アークプラズマ等で活性化した水素と溶融金属との反応過程で生じる溶融金属の強制蒸発的な飛散現象を利用して金属微粒子を製造するものである。本発明によれば、Ta, Mo等の高融点金属を含むあらゆる金属の高純度な超微粒子を高効率で生産することが可能であり、金属超微粒子の用途開発の進展が期待される。

水素貯蔵用材料

特公開56-17901

昭和56年2月20日

本発明は、 $FeTi_x$ (式中 x は1.02~1.30の数を示す)中に約 $Fe_7Ti_{10}O_3$ で示される組成の酸化物が0.5~9重量%分散している複合材であることを特徴とする水素貯蔵用材料に関するものである。この材料は、加熱するような活性化処理の必要がなく室温で容易に水素化し、たとえば40℃で水素圧が10気圧の場合、1g当り0℃1気圧に換算して約110ccの水素を吸収し、それを数気圧で放出する能力を有している。しかも、この材料は従来の水素貯蔵用材料に比較して安価なことから、大型水素貯蔵タンク用あるいは大型蓄熱器用の水素貯蔵材料として適している。

◆ 短 信 ◆

● 受 賞

紫綬褒賞

極低温機器材料研究グループ総合研究官
太刀川恭治は「 V_3Ga 超電導線材の開発」に対し昭和57年4月29日賞を受けた。

科学技術庁長官表彰(業績表彰)

疲れ試験部 阿部孝行は、「金属材料の疲れ特性データ・シート作成業務に従事し、疲れ試験用腐食装置の開発により試験の効率化に貢献」に対し、昭和57年5月19日(科学技術庁創立記念日)に表彰を受けた。

● 海外出張

所長 荒木 透

ニオブに関する研究調査のため、昭和57年5月23日から昭和57年5月31日までブラジル国へ出張した。

“好評だった「中学生のための金属教室」”

科学技術週間行事の一環として4月17日(土)、地域の中学生など、約80名の参加を得て「中学生のための金属教室」が、盛況のうちに行われた。



写真 金属の燃焼を実験している中学生

通巻 第282号

発行所 科学技術庁金属材料技術研究所

編集兼発行人 越 川 隆 光
印刷 株式会社 三 興 印 刷
東京都新宿区信濃町12
電話 東京(03)359-3811(代表)

東京都目黒区中目黒2丁目3番12号
電話 東京(03)719-2271(代表)
郵便番号 153