

金材技研

科学技術庁

金属材料技術研究所

1996 No. 2

ニュース

最強の定常強磁場発生装置／
MeV粒子線誘起電気伝導／
超伝導状態でdHvA振動観察

世界最強の定常強磁場発生装置

——稼働状態に入る——

当研究所は、平成元年度より開発を進めていた40T(テスラ)ハイブリッドマグネットシステム(図、写真)を使い、このほど世界最強の定常強磁場の発生に成功し、その磁場を使った各種実験に取り組み始めた。磁場は、物理上の基本的パラメータの一つで、あらゆる物理的性質に影響を与える。このため、強磁場下での超伝導材料をはじめとする強磁性材料、半導体、有機物、生体高分子等、各種物質・材料の測定は、その特徴を明らかにする上で極めて有効な手段の一つであり、本装置が稼働状態に入ったことで解決が期待される問題も数多い。

定常強磁場を得る上でハイブリッドマグネットは電力消費上最も経済的なシステムである。強磁場下では超伝導性能を失うが、電力消費のない超伝導マグネットを外側に、発生磁場に理論的限界はないが抵抗熱発生のため消費電力・冷却コストが極めて大きい水冷銅マグネットを内側に配置して組み合わせる。30T以上の強磁場

発生が可能なハイブリッドマグネットを持つ機関は、当研究所の他、欧州に2カ所、米国に1カ所、わが国にもう1カ所(東北大学金属材料研究所)存在する。最近、開設された米国国立強磁場研究所は、45T級ハイブリッドマグネットを開発中である。

当研究所の40T級ハイブリッドマグネットシステムは、超伝導マグネット部の分担磁場設計値が15T(室温、内径400mm ϕ)と際立って高いのが特長で、これは日本の強磁場用超伝導技術が優れていることと、日本の電力料金が低いことを考慮したためである。内部に空隙を設け、強い圧縮応力に耐える工夫を施した新構造の化合物系超伝導体を最高磁界部に使用する等の工夫をしている。

水冷銅マグネット部として、内挿Aと内挿Bの2種類のアルミナ分散強化銅合金製コイルを作製した。40T級用の内挿Aは、13.3MWの電力消費時に、25Tの追加磁場(超伝導マグネットによる15Tバックアップ磁場と合計して40T)を300mm ϕ の内径中に発生する設計となっており、35T級用の内挿Bは、10.8MWの電力消費時に、20Tの追加磁場(バックアップ磁場と合計して35T)を50mm ϕ の内径中に発生する設計になっている。

本システムを用いて、現在までに内径30mmの場合でも36.04T、50mmの場合では32.1Tという定常超強磁場発生に成功している。これらの値は、内径を考慮すれば、どちらも定常磁場の世界記録である。今後システムやパーツの詳細な検討を行いながら徐々に発生磁場を高め、設計最高磁場の発生に挑戦していきたい。この強磁場を使った各種実験は、すでに一部始められている。今後、運転経験を積み、十分な測定用運転時間が得られるようになれば、外部からのマグネット利用希望にも積極的に対応していく予定である。

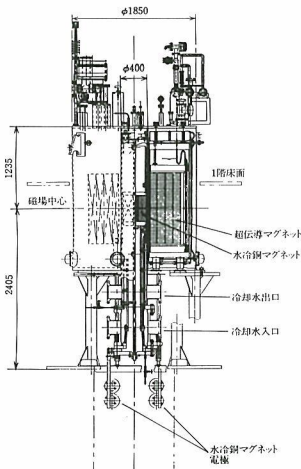


図 40T級ハイブリッドマグネットの断面模式図

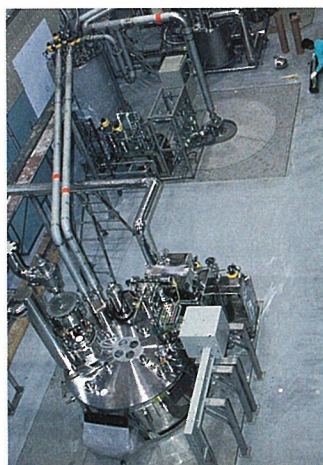


写真 強磁場ステーションの40T級ハイブリッドマグネット

MeVイオン照射による粒子線誘起電気伝導

—— 粒子線伝導強度と暗伝導度の相関を発見 ——

核融合炉のプラズマ計測等に用いられる材料は、強い放射線にさらされて大きな電離作用を受ける。特に光検出素子や電子回路素子において、電離(電子励起)による電気抵抗の低下は素子の正常な動作を阻害し、致命的な影響を与える。これを防ぐべく、耐放射線性の優れた素子を開発するには、放射線による電気抵抗の低下(伝導度の上昇)現象について明らかにする必要がある。近年このような観点から、電子線や中性子線等の照射によって誘起される電気伝導現象(以下、粒子線伝導と呼ぶ)が精力的に研究されている。我々は核融合炉の光学素子・電子回路素子材料として最も重要なシリコン(Si)を対象に、核融合の14MeV中性子に質量、エネルギーとも近い17 MeV陽子を用いて、その基礎的研究を行っている。最近得られたいくつかの知見をここに紹介する。

一般に非金属材料に照射された粒子線は、電離作用により電子・正孔を生成し電気伝導度を上昇させる。一方、粒子線は核との相互作用の結果、原子を結晶格子位置からはじき出し、生成された欠陥は電子・正孔を捕獲して伝導度を減少させる。粒子線伝導とはこれらの競合過程である。高エネルギー粒子線で、核子あたりのエネルギー(加速エネルギー/粒子の質量数)がMeVを越える場合、材料中のエネルギー損失のほとんどすべては電子励起過程による。我々が行った17MeVの陽子線をSiに照射する実験では、エネルギーの99.98%が電子励起で失われ、欠陥生成で失われる分はわずか0.01%以下である。

しかし、欠陥生成の影響が無視できるわけではない。電子励起の寿命は通常マイクロ秒～ミリ秒であるのに対して、欠陥の寿命は非常に長い。従って、欠陥数は徐々にではあるが着実に増加し、伝導度を減少させる。

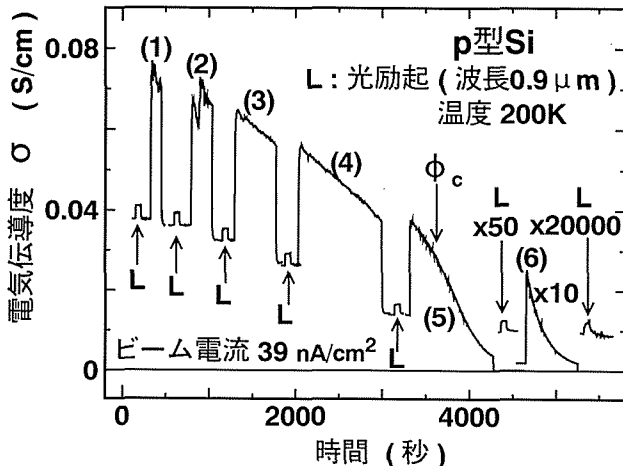


図1 光および粒子線照射によるシリコンの電気伝導度の時間的変化。Lと(1)–(6)は、それぞれ光および粒子線照射に対応する。

粒子線照射したSiの電気伝導度の時間的変化を図1に示す。照射は断続的に行い、照射を行っていないときの伝導度(暗伝導度)をも測定した。また欠陥を生成せず電子励起だけを起こすために、光(波長0.9μm)の照射も行い、粒子線照射による変化と比較した。

図1に示すように、光および粒子線照射により伝導度が増加する。これは電離によるキャリア数増加に対応する。(照射(1),(2)での伝導度の不安定な変化は、粒子線強度の揺らぎを反映している)。粒子線の照射が続くと伝導度が徐々に減少するが、これは欠陥生成によるもので、暗伝導度の減少にほぼ対応している。注目すべきは、粒子線による伝導度の変化分が、線量 ϕ_c 以下の(1)–(4)の照射ではあまり減少しない点である。一方、線量 ϕ_c 以上の(5)の照射では1/10、(6)で1/100まで減少する。光および粒子線による伝導度変化分の粒子線照射量に対する依存性を図2に示す。光および粒子線による伝導度変化分は、照射量 6×10^{14} ion/cm²以下ではあまり変化しないが、それ以上で急激に減少する。

暗伝導度 σ は、(非照射時の)伝導担体(キャリア)密度 n と移動度 μ を用いて、 $\sigma = en\mu$ で与えられる。移動度 μ は照射量 10^{15} ion/cm²程度では低下しないことが確かめられているので、 σ の減少はすべて n の減少による。すなわち、生成された欠陥にキャリアが捕獲され、その数が減少したことを直接反映している。キャリアのうち欠陥に捕獲されたものの比率を図2に合わせて示した。 $n(0)$ 、 $n(\phi)$ はそれぞれ照射前および線量 ϕ まで照射した場合のキャリア数である。その差 $n(0) - n(\phi)$ は ϕ までの照射により欠陥に捕らえられたキャリア数であり、それを照射前のキャリア数で規格化したものが図2の黒丸である。この比率が1になり、ほぼすべてのキャリアが欠陥に捕獲される照射量 ϕ_c (

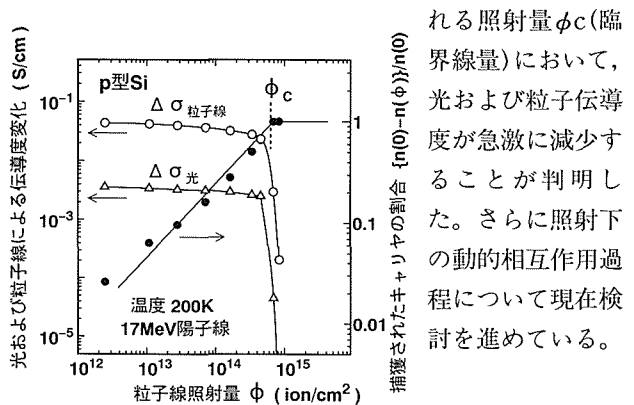


図2 光(Δ)および粒子線(\circ)による電気伝導度増加量の照射量依存性。照射 ϕ により欠陥に捕獲されたキャリア数の、照射前のキャリア数に対する割合(\bullet)も合わせて示す。

超伝導状態でドハース・ファンアルフェン振動を観察

—— ホウ素炭化物超伝導体 $\text{YNi}_2\text{B}_2\text{C}$ の電子状態の研究 ——

ホウ素炭化物超伝導体 $\text{RE-T-B}_2\text{C}$ ($\text{RE} = \text{希土類元素}$, $\text{T} = \text{Ni, Pd, Pt}$) は、比較的高い超伝導転移温度 ($\text{Y-Pd-B}_2\text{C}$ で 23K , $\text{YNi}_2\text{B}_2\text{C}$ で 15.6K) を示すとともに、適当な希土類元素を用いた場合に、磁性と超伝導が共存するため、固体物理学上の観点から興味を持たれ、盛んに研究されている。さらに、これらの化合物群がデバイス化に適した特性を持つため、応用上の観点からも関心を集めている (金材技研ニュース1995年No.11)。

本研究では、 $\text{YNi}_2\text{B}_2\text{C}$ のドハース・ファンアルフェン振動 (dHvA 振動) を観測し、そのフェルミ面を調べた。フェルミ面とは、伝導電子が持つ波数とエネルギーを3次元波数空間内に表示した場合の最高の等エネルギー面で、この面の形状は物性を考察する際の核心となる。というのは、フェルミ面近傍に限られた電子が様々な物性を決定するからである。酸化物超伝導体についても、そのフェルミ面の詳細を実験的に決定する試みが種々の研究者によって行われている。

フェルミ面を実験的に決定する方法の中で最も精密なものは、 dHvA 振動の観測である (金材技研ニュース1992年No.11)。 dHvA 振動は、物質の磁化が磁場に対して関数的に振動する現象で、具体的に言えば、磁場の逆数に対して磁化をプロットすると周期的に振動する。その振動の周波数から、フェルミ面の磁場に垂直な断面積を直接決定することができる。 dHvA 振動は量子現象に本源的に基づくものであり、その観測には純良な単結晶と超低温および強磁場を必要とする。そこで本研究では、当研究所で育成された純良のバルク単結晶試料 (同上1995年No.11) を用い、当研究所強磁場ステーションに設置された精密超伝導磁石と希釈冷凍器を用いて 16T (テスラ) までの強磁場および 0.05K の超低温の下に dHvA 振動を観測した。

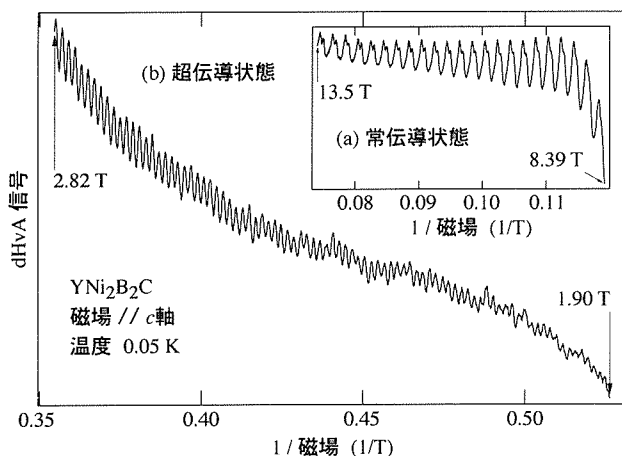


図1 $\text{YNi}_2\text{B}_2\text{C}$ の (a) 常伝導状態および (b) 超伝導状態での dHvA 振動

図1 (a) に $\text{YNi}_2\text{B}_2\text{C}$ の常伝導状態で観測された dHvA 振動の一例を示す。磁場は c 軸に平行に加えてある。磁場の逆数 ($1/H$) に対し周期的な振動が明瞭に観察される。同様な測定を様々な磁場方位に対して行って得た結果をまとめたのが図2である。横軸は磁場方位を示し、縦軸は各磁場方位で観測された dHvA 振動の周波数を示す。 α から ϵ まで、 dHvA 振動の複数のブランチが観測されている。最も周波数の高いブランチ γ は、波数空間内のブリルアンゾーンの約30%を占める大きなフェルミ面からの信号である。この様な大きなフェルミ面が観測されたことは、 $\text{YNi}_2\text{B}_2\text{C}$ が比較的単純な金属的性質を持つ物質であるとする、いくつかの実験結果や理論的予測と符合する。現在バンド計算の結果と比較して、それぞれのブランチがどのようなフェルミ面に起因するものであるかを検討している。

本研究における強調すべき成果は、上部臨界磁場 (約 8T) 以下の超伝導状態でも、 dHvA 振動が明瞭に観測されたことである。図1 (b) に示したのは、超伝導状態において、磁場を c 軸方向に加えて観測された dHvA 振動で、図1 (a) と同様に磁場の逆数に対して周期的な振動が 1.9T の低磁場まで明瞭に観測できる。観測された振動の周波数は、常伝導状態での α ブランチの周波数と一致する。従来の考えに従えば、超伝導状態では試料中から外部磁場が排除されるため、 dHvA 振動は観測できないことになる。しかし近年、 NbSe_2 , V_3Si , Nb_3Sn , YBCO などの第2種超伝導体の混合状態で dHvA 振動の観測が報告され、その機構を解明するための理論的研究も盛んになってきている。今回の成果は、この分野の研究の発展に大きく寄与する

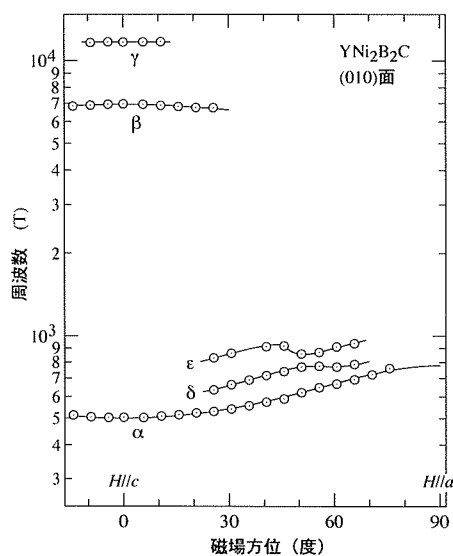


図2 dHvA 振動の磁場方位依存性

ものと思われる。今後、超伝導状態での dHvA 振動を詳細に解析して、超伝導ギャップなどの超伝導特性を直接抽出することを目指して研究する方針である。

3 月の研究発表（国内分）

学・協会名	開催期間	発 達 題 目	発 表 者 (所属)
IEA/JUPITER Joint Symposium on Small Specimen Test Technologies for Fusion (宮城：サンルート蔵王ホテル)	3.13～3.16	1. Evaluation of Embrittlement of Martensitic 9Cr-WVTa Steels by Instrumented Impact Testing Using 1/3 Size Specimens	阿部富士雄（環境）他
名古屋コンファレンス (愛知：名古屋大学)	3.14～3.16	1. Electrochemistry of Dichloro(Phthalocyaninato) Antimony (V) Cation and Spectroscopic Properties of Its Radical Anion	砂金 宏明（反応）他
表面技術協会1996年春季大会 (千葉：千葉工業大学)	3.21～3.23	1. 多元マグネトロンスパッタリングによる Ti-Ni 形状記憶合金薄膜の作製	石田 章（3 T）他
日本非破壊検査協会平成 8 年度春季大会 (東京：アカルディア市ヶ谷)	3.25～3.26	1. 交流漏洩深傷における磁化周波数と漏洩磁束ベクトルの関係について	植竹 一蔵（損傷）他
日本金属学会1996年春季大会 (千葉：千葉工業大学)	3.26～3.28	1. 希土類オルソアルミネートにおける磁気エントロピー変化の異方性 2. Al-12%Si 合金鋳造材の塑性変形能と加工温度 (Al-Si 合金の可塑化の研究 第二報) 3. Al-12%Si 合金冷間加工材の引張性質と微視組織 (Al-Si 合金の可塑化の研究 第一報) 4. インターネットと表面分析 5. 機能性 Ti 偏析 Nb 膜表面の組成回復速度の温度依存性 6. SrV ₂ S ₅ の電顕による構造解析の試み 7. Zr と SUS304L との拡散接合	木村 秀夫（機能）他 長井 寿（力学）他 梅澤 修（力学）他 吉原 一紘（表面）他 吉武 道子（表面）他 池田 省三（表面）他 春日井孝昌（組織）他
日本鉄鋼協会第131回春季講演大会 (千葉：千葉工業大学)	3.26～3.28	1. Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al の高サイクル疲労強度に及ぼす微視組織の影響 2. 連続選択酸化炉の熱収支 3. 高 Mn オーステナイト鋼の 3 次域におけるクリープ速度加速に及ぼす炭化物の効果	萩原 益夫（力学）他 クリスチャン・ロス（反応）他 阿部富士雄（環境）他

学・協会名	開催期間	発 達 題 目	発 表 者 (所属)
第43回応用物理学関係連合講演会 (埼玉：東洋大学)	3.26～3.29	1. Ba(B _{1-x} Al _x) ₂ O ₄ の過冷却特性と結晶育成 2. XHV 中の摩擦	木村 秀夫 (機能) 他 土佐 正弘 (表面) 他
日本原子力学会春季大会 (大阪：大阪大学)	3.27～3.29	1. 原子力極限環境における材料化学に関する研究 2. 第1壁材料の核変換挙動に及ぼすブランケット組成の影響 3. Ti, P 添加 Fe-25%Ni-15%Cr 合金のクリープ破断特性に及ぼすヘリウムの効果 4. プロトン照射したオーステナイトステンレス鋼のスエリングに及ぼす冷間加工の効果	北島 正弘 (2 G) 他 野田 哲二 (2 G) 他 山本 徳和 (2 G) 他 村瀬 義治 (2 G) 他
第70回日本化学会春季大会 (東京：青山学院大学)	3.28～3.31	1. オクタアルニキルフタロシアニナトコバルト (II) 錯体の分光学的電気化学的性質	砂金 宏明 (反応) 他
資源・素材学会平成8年度春季大会 (東京：早稲田大学)	3.29～3.31	1. 硫化第2鉄のバクテリア酸化反応に関する基礎研究—第一報 PH と Redox 電位により考察した反応過程—	青木 愛子 (損傷) 他



◆短 信◆

●受 賞

日本金属学会論文賞

表面界面制御研究部 吉武道子

日本金属学会奨励賞

第4研究グループ 打越哲郎

日本金属学会において、「高速拡散による Nb 膜表面での基板 Ti の多原子層偏析」が優秀と認められたことにより、平成7年12月15日、上記の賞を受けた。

日本金属学会において、金属材料ならびに関連分野における業績を挙げたことにより将来性を期待され、平成7年12月15日、上記の賞を受けた。



◆特許速報◆

●出 願

発 明 の 名 称	出 願 日	出 願 番 号	発 明 者 名
酸化物単結晶とその製造方法	7.12.8	07-319874	木村秀夫, 佐藤充典, 沼澤健則

●登 録

発 明 の 名 称	登 録 日	登 録 番 号	発 明 者 名
酸化物超電導材料の製造方法	7.11.8	1990250	海江田義也, 太田口稔, 小黒信高, 他1名 (共立窯業原料株式会社との共有特許権)
Ni-TiC 複合皮膜の被覆法	7.12.8	1995904	石田 章, 武井 厚, 土肥春夫
半導体ヘテロ薄膜のその場作製および評価方法	7.12.8	1995998	古屋一夫, 石川信博, 斎藤鉄哉

平成7年度金属材料技術研究所研究発表会のご案内

当金属材料技術研究所では、研究活動をより広くご理解していただき、その成果をご活用願うために、毎年「研究発表会」を開催しております。平成7年度は、「金属間化合物材料の組織と特性」と題し、関連分野に携わる研究者が、これまでの研究の進展と成果について発表いたします。

多数の皆様方の御来聴をお待ち申し上げます。

日 時：平成8年4月24日（水）午後1時10分より

場 所：金属材料技術研究所 第1会議室（茨城県つくば市千現1-2-1）

常磐高速バス：千現1丁目下車徒歩5分

J R 常 磐 線：荒川沖駅下車

関東鉄道バス荒川沖駅東口から筑波大学中央行き

「千現1丁目」下車徒歩5分

◇ プ ロ グ ラ ム ◇

テーマ「金属間化合物材料の組織と特性」

1：10～1：20 あいさつ

1：20～2：00

「TiAl 基金属間化合物材料の熱処理による組織制御と力学特性」

第3研究グループ 熊谷達夫

2：00～2：40

「TiAl 基金属間化合物材料の加工熱処理による組織制御と力学特性」

第3研究グループ 信木 稔

2：40～3：20

「TiAl 系金属間化合物材料の切削加工」

組織制御研究部 山本重男

3：20～3：30（休憩）

3：30～4：10

「形状記憶合金薄膜の組織と形状記憶特性」

第3研究チーム 石田 章

4：10～4：50

「傾斜機能構造形成による金属間化合物 PbTe の熱電特性」

機能特性研究部 西田勲夫

発行所 科学技術庁金属材料技術研究所
〒305 茨城県つくば市千現1-2-1
TEL (0298)53-1045(企画室直通),
FAX (0298)53-1005

通巻 第447号
編集兼発行人
問合せ先
印刷所

平成8年2月発行
武 藤 英 一
企画室普及係
前 田 印 刷 株式会
社
茨城県つくば市東新井14-5