

金材技研

科学技術庁

金属材料技術研究所

1997 No.3

ニュース

複合フェルミオン研究に強磁場利用／

強磁場マグネット利用の新展開／

超微細加工した磁性体の微小磁化の観察に成功

強磁場を用いた半導体中 2 次元電子系の研究

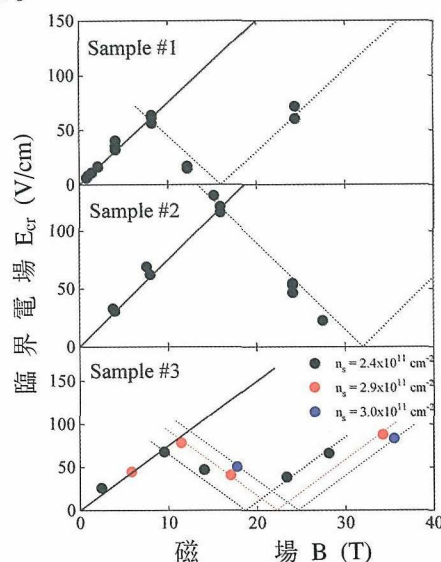
－ 複合フェルミオンの安定性示唆 －

近年、高温超伝導体を中心とした電子間相互作用の強い電子系が注目を集めている。半導体中に形成される 2 次元電子系では、強磁場下で電子の波動関数が収縮することによって電子相関が強くなり、低温で多くの奇妙な性質を示すことが知られている。このうちの一つに分数量子ホール効果と呼ばれる現象がある。最近の理論的研究によると、分数量子ホール効果は、電子と磁束量子 2 本が一組になったものを一つのフェルミ粒子とみなすことによって説明される現象である。しかし、この新しい粒子、複合フェルミオンが単なる概念的な存在なのか現実に安定な粒子なのか、また、その有効質量や輸送現象に対する特性等の不明な点も多く、現在解明が進められている。

当研究所では、電流によって量子ホール効果状態が破壊されるブレイクダウン現象を分数量子ホール効果状態で初めて見出し、この時の臨界電場の磁場に対する依存性を研究している。図に示したのは、ブレイクダウン現象の生じる臨界電場 E_{cr} をいくつかの整数および分数量子ホール効果状態下で測定した結果をまとめたものである。一電子状態として理解されている整数量子ホール効果状態では、臨界電場はほぼ磁場に比例している。一方、分数量子ホール効果では、ランダウ準位に電子の詰まっている割合（フィリングファクター $\nu \equiv 2\pi l_e n_s$ 、 l_e はサイクロトロン半径、 n_s は二次元電子密度）が $1/2$ になる磁場 $B_{\nu=1/2}$ からの磁場のずれ、 $|B - B_{\nu=1/2}|$ 、に対して臨界電場が比例している。複合フェルミオンは、もともと磁束量子を持っているために外部から印加した磁場が相殺され有効磁場が $\nu=1/2$ で零になることが知られている。上記の測定結果は、複合フェルミオン理論によってブレイクダウン現象が定性的によく説明されることを示している。量子ホール効果のブレイクダウン現象自体は、整数量子ホール効果での研究からホットエレクトロン現象であることが知られており、以上の実験事実は複合フェルミオンが有効温度の高い状態でも安定に存在する粒子であることを

示唆している。

定量的には、臨界電場の値は磁場中でフェルミエネルギー近傍に生じるエネルギーギャップの大きさに比例するものと考えられる。複合フェルミオンの有効質量は、電子に比べて 10 倍程度大きなものであることが分っており、分数量子ホール効果での臨界電場の値は整数量子ホール効果状態に比べて 10 分の 1 程度に小さくならなければならない。しかし、測定結果はこれと大きく矛盾する。この矛盾に対する明確な回答はまだ得られていないが、複合フェルミオン状態から励起される準粒子が分数電荷 ($e/3$) を持つことに由来しているのではないかと考えている。当研究所では、今後、複合フェルミオンの輸送特性を明らかにすることを目標にしたより詳細な研究を計画している。



図：電子密度 n_s 、電子易動度の異なる 3 つの試料におけるブレイクダウン現象を示す臨界電場の磁場依存性。実線および点線は電子と複合フェルミオンの有効磁場に比例した直線を表している。

強磁場マグネット利用の新展開

— 複合極限場下の電子状態観測に成功 —

当研究所では科学技術庁超伝導マルチコアプロジェクト第1期（昭和63年—平成6年）において、世界最高性能を有する各種の強磁場マグネットを完成した。種々の研究分野においてこれらを利用した研究が開始されている。マグネットの利用に際しては磁場とともに、温度、圧力などの他の熱力学的なパラメーターを広範囲に変化できると、多くの有用な応用が可能となる。特に磁場を含め温度、圧力などの種々の環境を同時に極限化（複合極限場）することによって、物質・材料特性の隠された側面を明らかにすることができる。しかしながら、強磁場を発生できる空間は限られており、この空間に、極低温、高圧などの極限場を同時に発生させることはたいへん困難である。現在、マルチコアプロジェクト第2期の研究の一環として、強磁場マグネットに適応した低温、高圧などの発生システムの開発・整備を進めている。最近、強磁場、極低温、高圧を同時に発生しながら、希土類化合物CeSbなどからの量子振動の観測に成功し、これらの物質の電子状態が加える圧力とともに変化する様子を明らかにすることができた。

CeSbなどの一群の希土類化合物は強い電子相関を有する物質とも呼ばれ、種々の興味ある電気、磁気的な性質を示し、近年大きな関心を持たれてきた物質群である。これらの性質は希土類化合物のf電子に由来し、f電子同士の相互作用、f電子と他の電子との相互作用の程度により性質が変化すると考えられている。試料に圧力を印加すると原子間距離も変わり、上記の相互作用の程度も敏感に変化し、特性も大きく変化する。加える圧力を変えながら、同時に物質の特性を根底で支配する電子状態の変化を観測することができれば、物質の特性を発現する機構の解明に大きな貢献ができる。なかでも量子振動現象は、電気伝導、超伝導などの金属の種々の有用な特性を支配するエネルギーの最も高い電子状態、すなわちフェルミ面を直接調べることができる手段であり、これら物質の高圧下での量子振動の観測は重要な課題であった。

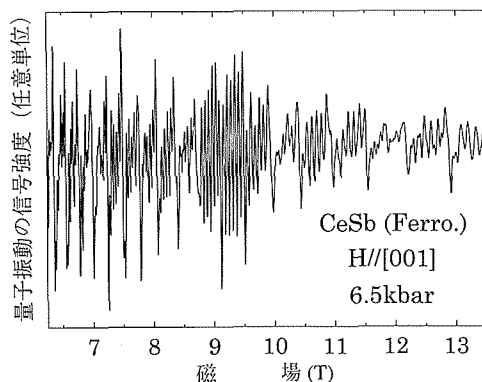


図1 6.5kbarの高圧を加えた状態でのCeSbの量子振動

図1は6.5kbarの高圧をCeSbの試料に加えた状態で観測した量子振動の信号である。強磁場に交流磁場を重ねる磁場変調法と呼ばれる方法で測定した。これらの物質からの量子振動の観測には純良な試料、強磁場とともに極低温が不可欠であるが、磁場変調法を用いると、試料に圧力を加えるための金属セルが発熱するため、極低温と高圧の共存は困難であると考えられてきた。今回、検出法の工夫により高圧、極低温を共存した状態において量子振動の信号の検出に成功した。この信号の解析からフェルミ面の大きさを調べることが出来る。図2にフェルミ面の大きさの圧力に対する変化を示す。 α と γ で示したのは電子のフェルミ面、 $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ はホールフェルミ面を示す。圧力変化は通常の金属に比べて一桁近く大きいと同時に、通常の金属には見られない特異な変化をする。すなわち、電子のフェルミ面が圧力とともに増大するのに対して、ホールフェルミ面は β_4 以外は、減少することである。この特定のホールフェルミ面においてはp電子とf電子の相互作用が強く、圧力を加えていくと、さらにこの相互作用が強まると考えると、図2のフェルミ面の圧力変化をきれいに説明できる。この特異な相互作用はCeSbの特性を支配する重要な機構と考えられる。このように電子状態の圧力変化の解明によって、物質、材料の特性を支配する機構をあらわにすることが出来る。現在、種々の物質において圧力下での電子状態の研究が進められている。

なお、CeSbに関する研究は東北大学理学部鈴木研究室との共同研究である。

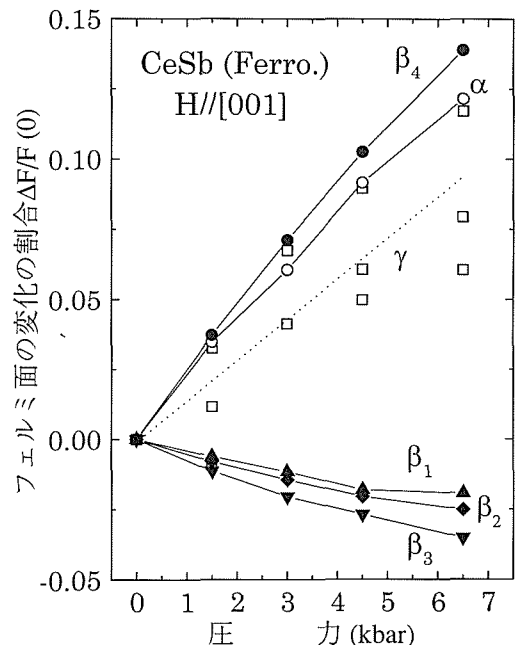


図2 各フェルミ面の大きさの圧力変化、 $F(0)$ ：常圧下の値、 $\Delta F = F(P) - F(0)$ ：変化分

電子線リソグラフィーによる超微細構造磁性体

ー エレクトロニクスブレークスルー「スピニクス」 ー

現在の大容量通信や高度情報処理を可能にしたエレクトロニクスの鍵となった技術の一つは高品位シリコン半導体の微細加工技術である。一方、半導体と並んでエレクトロニクス分野を支えている重要な材料は主として情報の記録と読み出しを受け持つ磁性体である。今まで、磁性体は薄膜やバルクの形で使われており、磁性体そのものに微細加工を行うことは、あまり考えられていなかった。しかしながら、磁性体の微細加工は、半導体のそれと比べると困難であるが、後に述べるように、今後のエレクトロニクス全体に革新的な飛躍をもたらす技術であることが、最近世界的に理解されるようになってきた。

当研究所は、数年前、世界に先駆けて、先進的な電子線リソグラフィー技術を用いて磁性体のナノスケールの超微細加工の研究を開始した。以来、磁性材料用の電子線描画法、独創的なドライエッチング法（金材技研ニュース1995年No.7）など微細加工のための一連のプロセス技術を開発し、また、その技術で作製した微細構造磁性体で光の速さの約100分の1の速さで伝搬する磁気波を見出すなど、先導的な研究を行ってきた。この程、微粒子状の磁性体を整然と格子状に並べた磁性体微粒子格子において、磁性体が磁化していく様子を直接観察することに成功した。この観察は微小な磁性体の針を対象物の表面に原子的距離に近づけて走査する磁気力顕微鏡法により行った。

写真1は超微細加工法で、鉄-ニッケル合金膜を同じ形と大きさをもった25万個の微細領域に分割して作製した微粒子が整然と並んだ微粒子格子において、それが磁化していない状態の一部分を磁気力顕微鏡で6000倍に拡大して示したものである。写真上で横方向に細長い形をした粒子の両端が白と黒に見えるのは、粒子のS極とN極を表しており、粒子が一個の磁石であることを表している。この状態は粒子が極端に小さいときに現れ、このような粒子は単磁区粒子と呼ばれている。写真1は一個一個の粒子の磁化の向きが乱雑で、隣どうしの磁化が打ち消し合い、したがって格子全体として磁化が現れない状態を示している。一方、**写真2**は微粒子格子をいったん磁化した後の状態（残留磁化）を磁気力顕微鏡で見たものである。写真ではすべての粒子は磁極の向きがそろっており、その結果、格子全体として一方向の

磁化状態が保存されている。永久磁石や磁気ディスクなどの磁性体は単磁区粒子の集合体であるが、乱雑な集合体であるため、複数の単磁区粒子が不規則に結合したクラスターが磁化の最小単位になっている。今回の実験結果は、規則正しく配列した微粒子格子では単磁区粒子の一個一個を磁化の最小単位とすることができることを意味している。すなわち、磁気ディスクに単磁区微粒子の配列格子を応用すると、情報の一ビットを一個の微粒子に記録することができるので、直径3.5インチの磁気ディスク一枚に600ギガビットの記録ができることになる。単磁区微粒子格子記録方式は高密度磁気記録の壁を越えるための最も期待できる方法の一つである。

電子は電荷と同時にスピンをもっている。磁性体をナノスケールで微細加工し、素子を形成し、電流を流すと、磁性体の量子効果により、電子電荷と同時に電子スピンの運動も制御できるようになる。このような磁性体の素子はこれまでの電荷の流れのみを利用した半導体素子と異なり、記憶作用があり、かつ高速である。磁性体を用いて、電荷とスピンの流れを同時に制御する技術はスピニクスと呼ばれ、スピニクスは今世紀大いに発展した半導体を中心とするエレクトロニクスの来世紀のブレークスルーになるものと期待されている。

当研究所では現在特別研究として磁性体の超微細加工とスピニクスの研究を行っているが、この研究で最近得られた成果は、来る3月28日から名古屋市で開催される日本物理学会のシンポジウム講演で発表される。

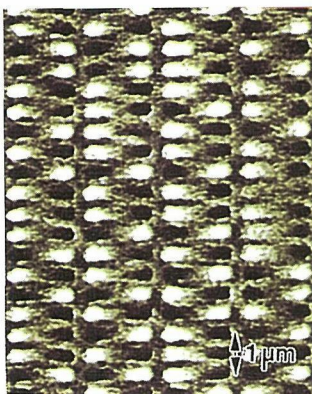


写真1 電子線リソグラフィーで作製した鉄-ニッケル合金微粒子の配列格子の非磁化状態の磁気力顕微鏡写真、倍率は6000倍。



写真2 写真1と同じ微粒子配列格子の残留磁化状態の磁気力顕微鏡写真。

海外での研究発表 (1997年 1 — 3 月分)

1997 European Winter Conference on Plasma Spectrochemistry (1月12日～17日, ベルギー・ゲント)

1) Studies on the Ion Formation in GDMS Ion Sources.

伊藤真二, 長谷川良佑

2) Axially-viewed Horizontal ICP-AES by the Use of a Long Torch.

長谷川良佑, 中村佳右, 高橋且征

3) Evaluation of Time-resolved ETV/Axially Viewed ICP-AES Using Echelle Spectrometer with Wavelength Modulation Second-Derivative Detection.

中村佳右, 高橋且征, 鯨井 脩, 大河内春乃

Symposium on Localized Corrosion and Environmental Cracking (1月22日～24日, インド・カルパッカム)

1) Effect of Crevice on Low Cycle Fatigue Behavior of Pressure Vessel Steel in High Temperature Pressurized Water.

片田康行, 佐藤俊司

International Conference on Superplasticity in Advanced Materials (1月29日～31日, インド・バンガローレ)

1) Cavitation Damage Mechanisms in a Superplastic Zirconia(3Y-TZP).

平賀啓二郎, 中野恵司

1997 TMS Annual Meeting (2月8日～13日, アメリカ・オーランド)

1) Process Optimization of High Strength, High Electrically Conductive Cu-Cr in-situ Composite.

鈴木洋夫, 安達和彦, 坪川純之, 竹内孝夫

2) The Characteristics of Electrical Conductivity and Precipitation of Cr by Aging in Cu-Cr in-situ Composite.

鈴木洋夫, 金延

3) Solidification Processing for the Production of Fine Grain Aluminum Alloy Materials.

佐藤 彰, 荒金吾郎, 大沢嘉昭, 高森 晋

4) Bi-2212/Ag HTSC Magnets for High Field Generation.

北口 仁, 熊倉浩明, 戸叶一正, 木吉 司, 井上 廉, 岡田道哉 (日立), 田中和英 (日立), 佐藤淳一 (日立電線)

International Symposium on Rhenium and Rhenium Alloys (2月9日～13日, 米国・オーランド)

1) Structures and Properties of Molybdenum-Rhenium Alloys.

森藤文雄

5th International Conference on Materials and Mechanisms of Superconductivity-High Temperature Superconductors (M²S-HTSC V) (2月28日～3月4日, 中国・北京)

1) Pressure Effect on T_c in RBa₂Cu₃O₈ (R=Sm,Er,Ho,Gd) Superconductors.

唐捷, 松下明行, 松本武彦, 岡田勇一 (名古屋大), 山田 裕 (名古屋大), 堀井 滋 (名古屋大), 小阪孝行 (筑波大)

2) Heat Capacity Measurement on Single Crystalline YNi₂B₂C Grown by Floating Zone Method.

竹屋浩幸, 宮本 悟, 山田 圭, 野々瀬菜穂子 (物質研), 門脇和男 (筑波大)

3) Effect of Oxygen Partial Pressure on Grain Boundaries in Bi-2212/Ag Tapes.

藤井宏樹, 北口 仁, 熊倉浩明, 戸叶一正

4) Simulation for the First-Order Vortex-Lattice Melting Transition in High-T_c Superconductors.

胡曉, 立木 昌 (東北大)

2nd Int.Conf.on Shape Memory and Superelastic Technologies (3月2日～6日, 米国・モンテレー)

1) A New Strengthening Method of Sputter-deposited Ti-Ni Shape Memory Films.

梶原節夫, 菊池武丕児, 小川一行, 松永 健 (筑波大), 宮崎修一 (筑波大)

International Workshop on Critical Currents in Superconductors for Practical Application, SPA'97 (3月6日～8日, 中国・西安)

1) n-Value for Bi-2212/Ag Multilayer Tape Prepared by Using Continuous Heat Treated Process.

北口 仁, 熊倉浩明, 戸叶一正, 長谷川隆代 (昭和電線), 引地康雄 (昭和電線)

2) Anomalous Current Distribution in Transfer Region for Bi-2212/Ag Due to Hall Effect.

北口 仁, 熊倉浩明, 戸叶一正

American Physical Society (3月17日～21日, 米国・カンザスシティ)

1) Formation Mechanism and Thermal Stability of Hydrogen Molecules in Crystalline Silicon.

石岡邦江, 中村一隆, 北島正弘, 深田直樹 (筑波大), 村上浩一 (筑波大)

2) NMR Study of a Single Layered High-Tc Cuprate Oxide $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_x$.

後藤 敦, 清水 禎, 青木晴善, 加藤将樹 (京都大), 吉村一良 (京都大), 小菅皓二 (京都大)

MRS 1997 春季大会 (3月31日～4月4日, 米国・サンフランシスコ)

1) Use of a Modified Bias Sputtering Technique to Fabricate In-plane Textured Buffer Layers for YBCO Film Growth.

福富勝夫, 斉藤正和 (ミツバ (株)), 小森和範, 戸叶一正

4月の研究発表 (国内分)

学・協会名	開催期間	発表題目	発表者(所属)
溶接学会平成9年度春季全国大会 (東京: 国立教育会館)	4.9～4.11	1. 皮膜形成過程	黒田聖治 (組織制御研究部)
		2. 溶射皮膜の残留応力発生過程の測定とモデリング	黒田聖治 (組織制御研究部) 他
第4回核融合工学国際シンポジウム (東京: 明治記念館)	4.6～4.11	1. Helium Embrittlement of Ti and P Added Austenitic Alloys Crept at 923K	山本徳和 (第2研究グループ) 他

◆特許速報◆

●出 願

発 明 の 名 称	出 願 日	出願番号	発 明 者 氏 名
高プロトン伝導性アンチモン酸膜とその製造方法	9.1.22	09-009546	小澤清, 目義雄, 打越哲郎, 天野宗幸
セラミックスチューブの製造方法	9.1.22	09-009547	海江田義也

電話番号変更のお知らせ

平成9年3月3日（月）午前7時から、当研究所の電話番号が下記の通り変更となりましたのでお知らせいたします。

総合案内（0298）59-2000

所 長	59-2001	環境性能研究部	59-2200
研究総務官	59-2003	部 長	59-2202
管理部長	59-2005		FAX 59-2201
秘書室	59-2006	第1研究グループ	59-2300
	FAX 59-2008	総合研究官	59-2303
企画室長	59-2030		FAX 59-2301
企画室	59-2033	第2研究グループ	59-2100
	FAX 59-2049	総合研究官	59-2102
管理部			FAX 59-2101
庶務課	59-2012	第3研究グループ	59-2700
	FAX 59-2029	総合研究官	59-2702
			FAX 59-2701
会計課	59-2063	第4研究グループ	59-2600
	FAX 59-2078	総合研究官	59-5019
	FAX 59-2079		FAX 59-2601
安全施設課	59-2084	第5研究グループ	59-2400
	FAX 59-2092	総合研究官	59-2403
			FAX 59-2401
研究支援課	59-2052	特別研究官（大河内）	59-2203
	FAX 59-2059	特別研究官（ホフマン）	59-2201
図書室	59-2053		59-2802
	FAX 59-2059	生体材料研究チーム	FAX 59-2801
			59-2400
物性解析研究部	59-2800		FAX 59-2401
部 長	59-2803	エコマテリアル研究チーム	59-2600
	FAX 59-2801		FAX 59-2601
機能特性研究部	59-2600		
部 長	59-2602	極限場研究センター	
	FAX 59-2601	総合案内	59-5000
計算材料研究部	59-2500	センター長	59-5020
部 長	59-2102		FAX 59-5023
	FAX 59-2501	業務室	59-5001
力学特性研究部	59-2500		FAX 59-5010
部 長	59-2502	強磁場ステーション	59-5021
	FAX 59-2501	総合研究官	59-5024
反応制御研究部	59-2400		FAX 59-5023
部 長	59-2402	精密励起場ステーション	59-5026
	FAX 59-2401	総合研究官	59-5025
組織制御研究部	59-2100		FAX 59-5027
部 長	59-2103	極高真空場ステーション	59-5026
	FAX 59-2101	総合研究官	59-5028
損傷機構研究部	59-2300		FAX 59-5027
部 長	59-2302		
	FAX 59-2301	材料試験事務所（変更無し）	
			（03）3719-2271
			FAX 3719-2177

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)59-2045(企画室直通),
FAX (0298)59-2049

通巻 第460号
編集兼発行人 武 藤 英 一
問 合 せ 先 企画室普及係
印 刷 所 前 田 印 刷 株式会社
茨城県つくば市東新井14-3