

物性研だより

第42巻
第2号

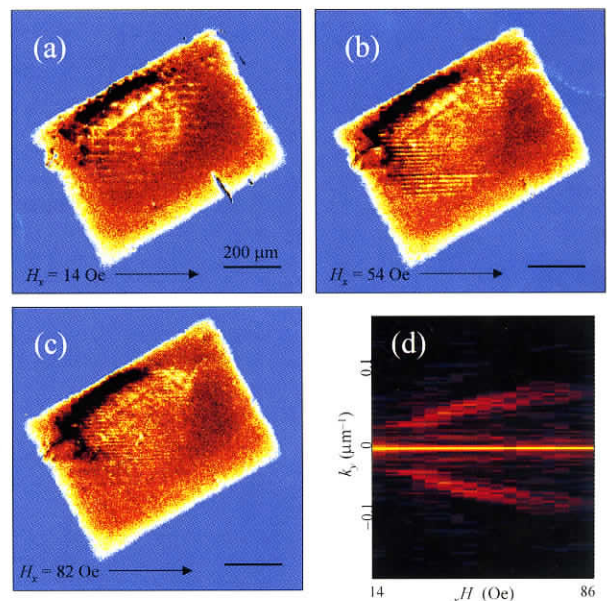
2002年7月

目次

- 1 物性研究所短期研究会報告
○高温超伝導体におけるボルテックス・マターの物理
- 物性研究所ISSPワークショップ報告
- 40 ○「ISSP Theory Forum for the 21 Century」
53 ○強磁場物性の現状と将来展望
57 ○ $\text{Cd}_2\text{Re}_2\text{O}_7$ に関するミーティング
58 ○高輝度光源における光学素子評価と分光器の提案
- 60 物性研究所談話会
- 物性研ニュース
- 61 ○人事異動
62 ○東京大学物性研究所の教官公募の通知
67 ○テクニカルレポート 新刊リスト

編集後記

磁気光学差像法で可視化された傾斜磁場下における $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+y}$ の磁束鎖



東京大学物性研究所

ISSN 0385-9843

物性研究所短期研究会

高温超伝導体におけるボルテックス・マターの物理

—相図、電子状態、ダイナミクスはどこまで分かったのか?—

東京大学工学系研究科 為ヶ井 強

2001年12月10日～11日にかけて表記の研究会が開催された。この研究会は、高温超伝導体における磁束系をボルテックス・マターと捉え、その研究の現状把握と今後の方向付けを最大の目的としたものである。磁束系を新しい物質系であるボルテックス・マターと捉える考えは、この10年ほどで定着してきており、通常の物質における様々な現象との比較から、磁束系の多くの現象が理解されてきた。また逆に、磁束系の研究が他の物質系における問題解決への糸口を与える可能性もある。

研究会には42件の発表と約65名の参加があり、現在盛んに研究されている磁束系の相図、電子状態、ダイナミクスについて大変有意義な討論を行うことができた。この研究会が、これからの磁束系の研究の飛躍への一助となると同時に、専門外の研究者へ何らかのインスピレーションを与えることができれば、と願う次第である。

プログラム

12月10日 (月)

<コア状態・格子構造>		座長	為ヶ井 強
9:30～9:50	site selective NMR によるボルテックスコアの電子状態の研究	北大・理	角柳 孝輔
9:50～10:10	渦糸状態における渦糸電荷と電荷遮蔽	東北大学金属材料研究所	小山 富男
10:10～10:30	Stability of Square Vortex Lattice in Cubic and Tetragonal Superconductors	岡大・理	Predrag Miranovic
10:30～10:45	高磁場近似による渦糸格子構造転移	京大院・理	池田 隆介
<相図 (Bi系) >		座長	小林 典男
11:00～11:25	層状超伝導体の相図と磁束状態	筑波大学物質工学系	門脇 和男
11:25～11:45	磁気光学的手法による磁束鎖の観察	東大院・工	徳永 将史
11:45～12:05	固有ジョセフソン素子特性で見た傾斜磁場下の磁束状態	物材機構	大井 修一
12:05～12:20	Bi2212系磁気相図とdisorder induced transition	産総研	山口 祐二
12:20～12:35	磁場中の蜂の巣格子超伝導ネットワークの理論	大阪府立大学	加藤 勝
<ダイナミクス・ジョセフソン磁束>		座長	松田 祐司
13:40～13:55	temporal 秩序をもったクリープ	東大院・総合文化	前田 京剛
13:55～14:10	高温超伝導体 Bi2212 における磁束系ダイナミクス —ノイズと干渉効果の温度依存性—	東大院・総合文化	戸川 欣彦

14 : 10~14 : 25	点欠陥を導入した BSCCO の磁束ダイナミクス	日立基礎研	菅野 量子
14 : 25~14 : 45	ジョセフソン磁束系の相図	物材機構	平田 和人
14 : 45~15 : 05	ジョセフソン磁束格子フローにおける有限サイズ効果	原 研	町田 昌彦
15 : 05~15 : 25	Shapiro Step Response in the Coherent Josephson Flux Flow State of Bi:2212	物性研	M. B. Gaifullin

< 熱伝導度・電子状態・磁束状態 >

		座長	石田 武和
15 : 40~16 : 00	異方的超伝導体の渦糸状態における熱伝導とノード構造	物性研	井澤 公一
16 : 00~16 : 20	渦糸格子状態の局所状態密度と熱伝導率	岡大院・自然	瀧川 光明
16 : 20~16 : 35	LT-STISによるYBa ₂ Cu ₃ O _y の混合状態における電子状態	東北大学金属材料研究所	柴田 憲治
16 : 35~16 : 55	Vortex tunneling spectra of high - T _c superconductors based on the t - J model	CREST、名大工	土浦 宏紀
16 : 55~17 : 15	LSCO単結晶の不可逆磁場近傍における磁束状態	北陸先端大	岩崎 秀夫
17 : 15~17 : 35	柱状欠陥を含むYBCO膜の磁束系相図と輸送特性の異方性	東北大極低温科学センター	野島 勉

12月11日 (火)

< 電子状態・JPR >

		座長	平田 和人
9 : 00~9 : 20	NbSe ₂ における混合状態の電子状態とCDWの相関	東大新領域	古泉 聡洋
9 : 20~9 : 35	ZnをドーブしたYBa ₂ Cu ₃ O _y 単結晶の混合状態における表面インピーダンス測定	東大院・総合文化	木下健太郎
9 : 35~9 : 55	d波超伝導体の渦糸フロー状態	物性研	柴田 明德
9 : 55~10 : 15	高温超伝導体におけるジョセフソンプラズマの波数依存性	筑波大学物質工学系	掛谷 一弘
10 : 15~10 : 35	不均一系のジョセフソン・プラズマ共鳴	東大院・工	亀田 直人

< 様々な超伝導体 >

		座長	花栗 哲郎
10 : 50~11 : 05	MgB ₂ の磁気特性と重イオン照射効果	ISTEC	筑本 知子
11 : 05~11 : 25	MgB ₂ における磁束状態	東大院・工	Z. X. Shi
11 : 25~11 : 45	Sr ₂ RuO ₄ における磁束状態	東大院・工	為ヶ井 強
11 : 45~12 : 00	Sr ₂ RuO ₄ におけるカイラリティ依存の渦糸ピンング	岡山大学	林 伸彦
12 : 00~12 : 20	有機超伝導体ジョセフソンボルテックスのNMRによる研究	東大工	宮川 和也

<相図 (Y系) >		座長	芝内 孝禎
13 : 20~13 : 45	下部臨界点と渦糸相図について	京大院・理	池田 隆介
13 : 45~14 : 05	YBa ₂ Cu ₃ O _y の渦糸相図-臨界点近傍の挙動		
		東北大金属材料研究所	小林 典男
14 : 05~14 : 20	YBa ₂ Cu ₄ O ₈ のピーク効果	大阪府立大学	山本 成彰
14 : 20~14 : 40	YBa ₂ Cu ₄ O ₈ の磁束相図	大阪府立大学	石田 武和
14 : 40~15 : 00	高磁場下における60K相YBCOの電気抵抗率面内異方性		
		北陸先端大	内藤 智之
<ガラス・量子磁束液体・理論>		座長	前田 京剛
15 : 15~15 : 35	極低温における磁束ガラス転移と量子ゆらぎ		
		東工大極低温センター	大熊 哲
15 : 35~15 : 55	有機超伝導体の量子磁束液体状態での磁気量子振動効果		
		東北大金属材料研究所	佐々木孝彦
15 : 55~16 : 15	Bi2212における磁束系の量子液体状態	京大工	芝内 孝禎
16 : 15~16 : 35	多成分系の量子渦構造- ³ He の場合	北大・理	北 孝文
16 : 35~16 : 55	高温超伝導体の擬ギャップ相における現象論と超伝導ゆらぎ		
		東北大学大学院情報科学研究科	林 正彦
16 : 55~17 : 15	フォースフリー磁束系の臨界現象と非エルミート量子力学		
		物材機構	田中 秋広

Site selective NMR によるボルテックスコアの電子状態の研究

北海道大学大学院理学研究科 角柳 孝輔、熊谷健一
東京大学物性研 松田 祐司

従来、NMR による高温超伝導渦糸状態での緩和時間の測定では超伝導と渦糸コアの緩和とを分離して測られることはなく、渦糸状態での緩和時間の分布は常伝導状態渦糸コアからのスピン拡散の効果や不純物効果として説明されてきた。しかし、高温超伝導体のような異方的 d -波超伝導体では、渦糸コアの電子状態密度は従来のBCS型 s -波超伝導体とは大きく異なると考えられる。

磁束状態で空間的に変化する準粒子状態密度がSTMなどで研究されているが、表面に依存する問題などの指摘もあり、磁束コアの超伝導準粒子の構造に関する議論は未だ収斂していない。ここでは、site-selectiveなNMRによる新しい観点からの磁束状態における準粒子状態に関する研究結果を報告する。

超伝導体の渦糸状態では磁束が侵入し内部に磁場分布ができるために、渦糸コア近傍と離れた所とではNMRの共鳴周波数が異なる。分布したFTスペクトル（いわゆるRedfield pattern）の各周波数における核緩和時間を分離して測定することにより、局所的な準粒子状態密度の議論が可能となる。実験ではNMR可能な ^{17}O アイソトープに置換した $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ と $\text{YBa}_2\text{Cu}_4\text{O}_8$ の ^{17}O -NMR、および Tl-2201 ($T_c=85\text{K}$)の ^{205}Tl -NMRを測定した。磁束格子を組む T_{melt} より低温では核緩和率、 $1/T_1$ に大きな周波数（磁場）依存性が観測された。磁場分布の鞍点（超伝導領域）では核緩和率は最も抑えられており、低周波側（4角格子を組む磁束を結ぶ方向）と、鞍点から高周波（磁束コア）に向かうにつれ $1/T_1$ は増大する。磁束コアに近づくにつれ増加する $1/T_1$ は、磁束の周りの超伝導電流による準粒子エネルギーのDoppler shiftによる局所的な状態密度の増加で説明できる。磁束間方向での $1/T_1$ の増加は、Doppler shiftによる局所的な状態密度の増加だけでは説明できず、磁束を結ぶ4回対称方向での準粒子状態密度の増加による可能性もある。

これに対して、渦糸コア領域内のOサイトで $1/T_1$ は減少する。このことは磁束コア内での準粒子状態密度の減少を示している。一方、Cuスピンによる反強磁性揺らぎを感じずるTlサイトでは $1/T_1$ は大きく増大する。また、渦糸コア近傍でのTlサイトでは緩和回復曲線が大きく分布している。これらの実験結果は、局所的な反強磁性磁気モーメントの揺らぎが渦糸コア内で増大していることを示しているのかもしれない。

このようにFT-NMRによる空間的に site-selective な核緩和時間の研究は、酸化物超伝導体における渦糸コアの準粒子状態密度や、反強磁性揺らぎの局所的空間分布を分離して捉えることが可能であり、異方的超伝導体において空間分布する局所的な準粒子状態の研究に有効であることを示している。

K. Kakuyanagi, K. Kumagai, and Y. Matsuda, to be published in Phys. Rev. B. **63** (2002) 144502, and cond - mat/0104252.

渦糸状態における渦糸電荷と電荷遮蔽

東北大学金属材料研究所 小山 富男
日本原子力研究所 町田 昌彦

第2種超伝導体の渦糸状態で電荷が現れる可能性が議論されている[1,2]。渦糸状態で出現する電荷は、渦糸状態の状態密度の空間的不均一性により、粒子-正孔対称性が局所的に破れることに起源をもつ。渦糸電荷を求める場合、超伝導電子間のクーロン斥力による遮蔽効果は無視できない。この効果は無視した計算では、渦糸電荷を大幅に過大評価することになる。本講演では、渦糸電荷が小さいと仮定して、線形応答理論を用いて定式化した渦糸状態における静電遮蔽、及び、渦糸電荷の理論を紹介する。具体的には、Bogoliubov - de Gennes 方程式の解として与えられる渦糸状態の波動関数とエネルギー固有値を用いて遮蔽関数を表現する。さらに、Poisson 方程式を解いて渦糸状態の電荷を計算する。

Bogoliubov - de Gennes 方程式の解を用いて最低次で表現した電荷と電流の表式は、電流保存則を満たさないことを指摘する。この保存則は、電荷バーテックスと電流バーテックスに対して、適切な近似でバーテックス補正を行うと回復する。本講演では、1 渦糸状態で電流保存則を満たすバーテックス補正を議論し、静的極限でこのバーテックス補正が消えることを示す[3]。従って、静的な渦糸電荷の計算には、最低次の計算が許されることになる。本講演では、遮蔽関数と Poisson 方程式を数値的に解いて得られた渦糸状態の電荷分布の計算結果を示す。遮蔽関数は渦糸の中心からの距離に依存すること、周期 π/k_F の振動成分を持つことを指摘する。従って、渦糸コア近傍の電荷分布に対して Thomas - Fermi 近傍は破綻していることを議論する。

[1] G. Blatter *et al.* Phys. Rev. Lett. **77** (1996) 566.

[2] K. Kumagai *et al.* Phys. Rev. **B 63** (2001) 144502.

[3] T. Koyama. J. Phys. Soc. Jpn. **70** (2001) 2102.

Stability of square vortex lattice in cubic and tetragonal superconductors

P. Miranovic* and K. Machida

Department of Physics, Okayama University, 700-8530 Okayama, Japan

Till recently there was a wide spread belief that hexagonal vortex lattice is the most stable configuration of vortices in type-II superconductors. It eventually becomes rhombic (distorted hexagonal) in anisotropic superconductors to adjust the anisotropy of the effective electron masses. In the early 70's the exotic square vortex lattice has been detected only in low κ ($\kappa \approx 1/\sqrt{2}$) cubic superconductors Nb and PbTl. Stability of square lattice has been attributed to the peculiar behavior of low- κ superconductors where attraction between vortices might occur. However, nowadays square VL in tetragonal ($\text{Sr}_2\text{RuO}_4, (\text{Re})\text{Ni}_2\text{B}_2\text{C}$; Re=Lu, Y, Er, Tm) and cubic (V_3Si) superconductors appears to be a rule rather than exception; all of them except

Sr_2RuO_4 are high- κ materials. Two different scenarios have been offered as an explanation for the stability of the square VL. One takes into account the anisotropy of the Fermi surface and neglects possible gap anisotropy. The other one assumes pure $d_{x^2-y^2}$ -wave order parameter symmetry but neglects the anisotropy of the Fermi surface. Model with anisotropic Fermi surface was successful in explaining complex vortex lattice phase diagram in borocarbides at low magnetic fields: hexagonal lattice which forms immediately above the H_{c1} , gradually evolves toward square lattice which is stabilized at some critical field $H_{\square}(T)$. Besides this structural, in low fields, there is another one reorientational vortex lattice phase transition. Within the Ginzburg-Landau model near T_c both scenarios, model with anisotropic Fermi surface and $d_{x^2-y^2}$ -model, predict that rhombic to square transition line $H_{\square}(T)$ will intersect $H_{c2}(T)$ line at some temperature close to T_c . This contradicts the experimental data in $\text{LuNi}_2\text{B}_2\text{C}$ where $H_{\square}(T)$ line bend away from $H_{c2}(T)$ and become two-valued at $T < 0.6T_c$. Extrapolation of data up to H_{c2} shows that rhombic lattice is again stable near the upper critical field. The similar behaviour has been observed in $\text{TmNi}_2\text{B}_2\text{C}$, though this is a magnetic member of the borocarbide family.

In this work the vortex state in anisotropic superconductors is analyzed within the Eilenberger equations of superconductivity. A simple model that accounts for the Fermi surface anisotropy and gap anisotropy has been used. Appropriate expressions for the free energy in the low field region (modified London model) and near $H_{c2}(T)$ has been obtained. We focused on the stability of the square vortex lattice. It has been shown that combined effect of gap and Fermi surface anisotropy may lead to reentrant behavior of rhombic vortex lattice. It is also shown that the same parameter controls the stability of the square vortex lattice at low temperatures and fields ($H \parallel c$) and anisotropy of H_{c2} near T_c for fields ($H \perp c$).

PACS numbers: 74.60.Ec, 74.70.Ge, 74.70.Dd

層状超伝導体の相図と磁束状態

筑波大学物質工学系 門脇 和男

The vortex-liquid and vortex-solid phases in single crystals of $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ placed in tilted magnetic fields are studied by in-plane resistivity measurements using the Corbino geometry to avoid spurious surface barrier effects. It was found that the anisotropy of the vortex-solid phase increases with temperature and exhibits a maximum at $T \sim 0.97T_c$. In contrast, the anisotropy of the vortex-liquid rises monotonically across the whole measured temperature range. The observed behavior is discussed in the context of dimensional crossover and thermal fluctuations of vortices in the strongly layered system.

In order to better understand the anomalous resistivity behavior at angles near ab -plane we have simultaneously measured ab -plane and c -axes resistivity in the Corbino geometry. It is shown that both the in-plane and out-of-plane resistivity measurements give the very close

close values of the vortex - lattice melting field in a wide angular range, while the drastic difference of the resistivity onsets of ρ_{ab} and ρ_c has been found near the ab - plane. The observed behavior is discussed in the context of the complex vortex - lattice -- vortex - smectic -- vortex - liquid phase transition. We also show preliminary results of the small ac - coil measurement, which can provide sensitive information on the transitions in the liquid phase as well as in the solid phase of the vortex state with sufficiently high sensitivity even in a field exactly parallel to the ab - plane. This technique clearly demonstrates the transition from tilted lattice to crossing lattice at a tilted angle of about 16 degree from the c - axis for the first time.

References

- [1]. *J. Mirkovic, S. Savel'ev, E. Sugahara and K. Kadowaki*, submitted to PRL (condmat/0110232).
- [2]. *J. Mirkovic, S. Savel'ev, E. Sugahara and K. Kadowaki*, Physica **C364 - 365**(2001)515 - 517.
- [3]. *S.Savel'ev, J.Mirkovic and K. Kadowaki*, Phys. Rev. **B64** (2001) 094521.
- [4]. *S.Savel'ev, J.Mirkovic and K. Kadowaki*, Physica. **C357 - 360**(2001)597 - 600, *ibid*, **C357 - 360** (2001) 601 - 603.
- [5]. *J. Mirkovic, S. Savel'ev, E. Sugahara and K. Kadowaki*, Phys. Rev. Lett. **86**(2001)886 - 889.

磁気光学的手法による磁束鎖の観察

東大院工 徳永 将史、小林 昌弘、村田 尚史、徳永 祐介、亀田 直人、為ヶ井 強

傾斜磁場下における $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+y}$ の磁束相図に対する研究は、現在でも盛んに行われている。最近我々は磁気光学的手法による直接観察の手段を用いてこの問題に対するアプローチを展開している。温度と面内磁場成分を一定とした条件下で面垂直磁場の変化に対する差像を撮ることにより、 ab 面内の磁束密度分布の変化を100mG以下の高感度で測定できる。今回はこの手法を用いて見出した面内磁束密度分布のストライプ構造について報告する。

図1は面垂直磁場14Oeと11Oeとの差像を100回積算して得た温度60K、面内磁場60Oeにおける磁束密度分布の変化である。試料内部における平均の磁束密度変化は0.2G程度であり、外部磁場の変化(3Oe)に比べてわずかである。しかしこのわずかな変化に対して有意な振幅(0.2G程度)を持つ磁束密度分布のストライプ構造が観測された。このストライプは面内磁場方向を変化させるとその方向に回転するため、その起源は結晶構造とは無関係である。図2は図1白枠中のFFTイメージであり、ストライプが明確な周期を持つことを示している。ストライプの間隔(c)は面内磁場(H_x)の増加に伴って $c \sim H_x^{-1/2}$ で減少する。この変化はJosephson 磁束間隔の変化と定量的にも一致する。従ってストライプ構造は交差格子状態における個々の磁束鎖に対応したものであると考えられる。

過去の報告と照らし合わせると、ストライプ構造の観測された磁場領域は磁束鎖+格子構造が実現する領域である。鎖+格子状態における明瞭なストライプの存在は磁束鎖、すなわち背景にある

Josephson 磁束の整列状態を示唆している。今回の観測に置いて、面垂直磁場が約 5 G 以下まで減少するとストライプの確認が困難になるという傾向が見られた。現時点におけるこの結果の解釈として、pancake 磁束の減少による pancake 磁束格子の消失が Josephson 磁束の秩序配列を崩壊させたという可能性を考えている。

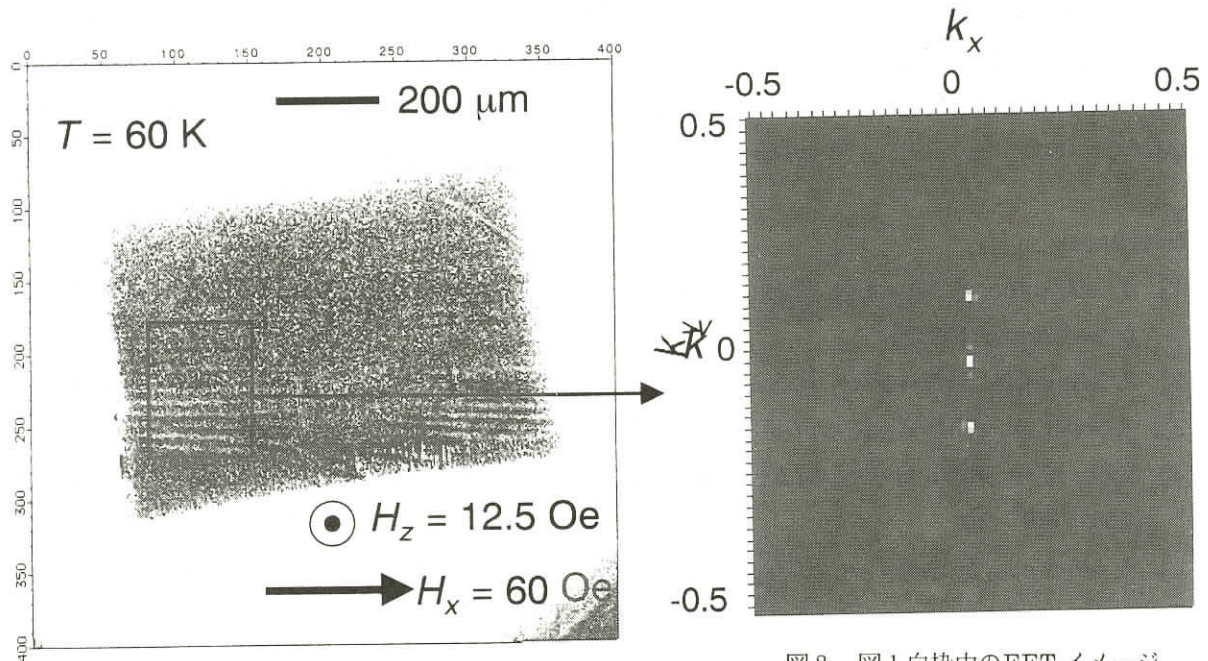


図1 温度60K、面内磁場60Oeにおける磁気光学差像。

図2 図1白枠中のFFTイメージ。

固有ジョセフソン素子特性で見た傾斜磁場下の磁束状態

物材機構 大井 修一、茂筑 高士、平田 和人

Vortex states in the tilted fields probed by properties of intrinsic Josephson junctions

National Institute for Materials Science S.Ooi, T. Mochiku, and K. Hirata

これまで高温超伝導体 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+y}$ 単結晶(Bi2212)について c 軸平行磁場下での固有ジョセフソン接合の臨界電流(I_c)測定を詳細に行うことで、Bi2212の磁束状態を調べてきた。各接合の I_c は超伝導面間の位相差を反映すると考えられるため、磁束線の配置によってその値が変化する。例えば、 I_c 測定によって実際に Bi2212 の磁束格子融解転移の際の異常を観測できる。一方、Bi2212において最近 c 軸方向から磁場を傾けた場合に多様な磁束相が可能であることがわかってきており、多くの興味を引いている。そこで、固有ジョセフソン接合による測定を傾斜磁場下の磁束状態を調べることに適用することを試みた。

試料の作製には、FIB(Focused Ion Beam)を利用した。Bi2212 単結晶試料を細長く(幅: 50 μm)切り出した後、電極を4端子形成し、FIBによる加工を経て、固有ジョセフソン接合の上下に超伝導による電極が付いた接合を作成した。Bi2212は c 軸抵抗が面内の抵抗に比し非常に大きいため、このようにして作成した試料において、 I_c 測定と同時に c 軸方向の抵抗測定を行うことができる。

また、 I_c を見積もる際には、適当な閾値電圧を決めて I_c を評価した。

図1に接合面積 $100 \times 27.3 \mu\text{m}^2$ 試料の傾斜磁場下での c 軸抵抗の磁場依存性を示す。400Oe 付近に磁束格子融解転移による抵抗の跳びが見られる。また、電流密度が大きいため、固体相内でも融解転移磁場の付近では有限の抵抗が観察される。特に注目されるのは、ゼロ磁場付近に見られるピークで、これは、磁場が小さくなることでジョセフソン磁束が面内にロックインされ、ジョセフソン磁束が集団フローを起こしたためと理解される。ロックイン状態が実現するのは必ずしも磁場の引加角度が面内方向近傍の場合だけでなく、面内から 50° 以上傾いた場合でさえロックイン状態が実現することがこの結果からわかる。図2に傾斜磁場下での I_c の磁場依存性を示す。磁束格子融解転移磁場以下での I_c は急な増加傾向を示す。これは c 軸平行磁場下の結果とほぼ同様であり、融解転移での明瞭な跳びは観察されなかった。また、ゼロ磁場付近でのピーク及びその外側に大きく I_c が減少する領域を観察できる。 I_c が減少するのはジョセフソン磁束フローにより抵抗が発生するのに対応する。ゼロ磁場付近でのピークは、より低磁場でジョセフソン磁束のピン止めが有効になるためと考えられる。一方、現在のところ、固体相内で期待される様々な磁束相に対応した I_c の異常は見られていない。

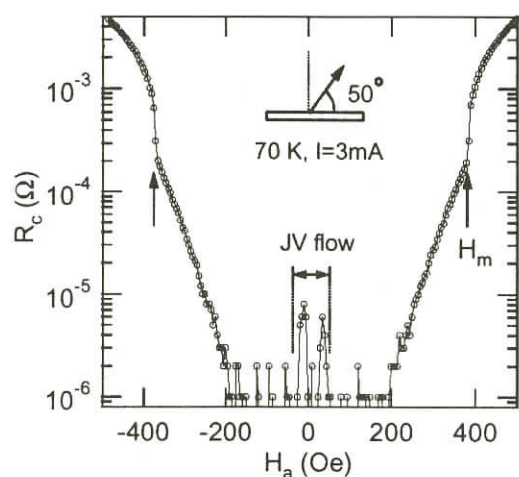


図1

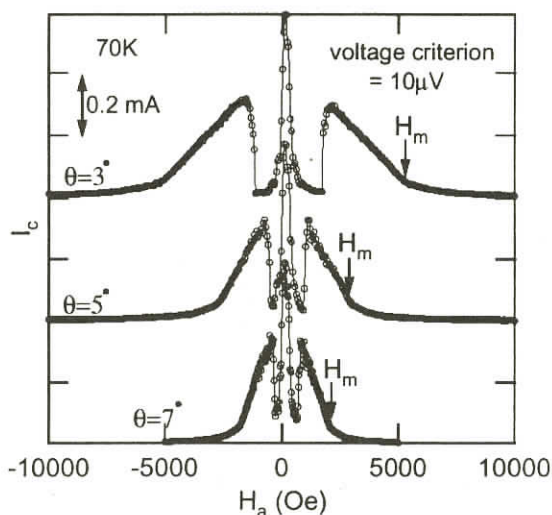


図2

Bi2212 系の磁気相図と Disorder Induced Transition

産総研 山口 祐二

高温超伝導の $B-T$ plane における相図は、極端な層状構造の（異方性 γ が大きい）特徴をしめすものとして、Bi2212 でよく研究されている。Bi-2212 の異方性パラメータは、他の超伝導体（LSCO や YBCO）のものにつながっており、鉛ドーピングの Bi-2212 はそのオーバードープ領域を広げる領域に位置している [Fig.1]。我々は、いくつかの pure-Bi-2212 とともに、鉛ドーピングの Bi-2212 ($\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$) の酸素量 (y) の変えたいくつかの試料 (#P350S~#P700R) について、磁気相図を系統的に調べた [Fig.2]。

その結果、pure-Bi-2212 では高温側の磁束格子融解温度はデカップリング転移磁場として説明されるが [Ref.1]、鉛ドーピング Bi-2212 の B_{0n} の高温側温度依存は磁束線への格子融解のものに近い [Ref.2]、一方、pure-Bi-2212 低温側のセカンドピーク磁場 (B_{0n}) は、3D-2D クロスオーバーに近い値をとるが [Ref.1]、鉛ドーピング Bi-2212 の B_{0n} は、Disorder Induced Transition [Ref.3] として定性的に説明できることがわかった [Table I] [Ref.2]。

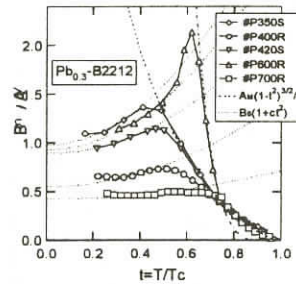
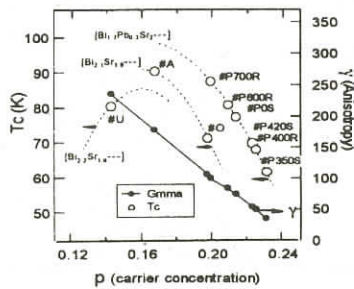


Fig.1. Estimated p and γ , and the observed T_c .

Fig.2. Temperature dependence of B_{0n} .

Table I Observed values (T_c , B_0 , A_M and c) and evaluated vortex - depinning temperature (T^*) and the disorder parameter (Δ) for the theory.

Sample	T_c/K	B_0/G	A_M/G	c	γ	T^*/K	Δ
#P700R	87.0	500	1190	0.7	100	43	0.47
#P420S	70.0	1420	1590	1.5	55	57	0.34
#P400R	68.2	1100	2000	1.6	50	67	0.45
#P350S	61.8	830	840	2.5	35	105	0.83

References

- [1] Y. Yamaguchi *et al.*, Phys. Rev. B 63 (2001) 14504.
- [2] Y. Yamaguchi *et al.*, Physica C 361 (2001) 244.
- [3] D. Ertaz and D. R. Nelson, Physica C 272 (1996) 79.

磁場中の蜂の巣格子超伝導ネットワークの理論

大阪府立大学大学院工学研究科数理工学 加藤 勝、佐藤 修

石田等により微細孔三角格子をもつPb薄膜の磁場中での特異な振る舞いが発見されている。[1] 我々はこの系を蜂の巣格子超伝導ネットワークで近似して、超伝導転移点近傍での振る舞いを de Gennes - Alexander 理論[2] に基づいて解析した。

超伝導ネットワークの de Gennes - Alexander 方程式は

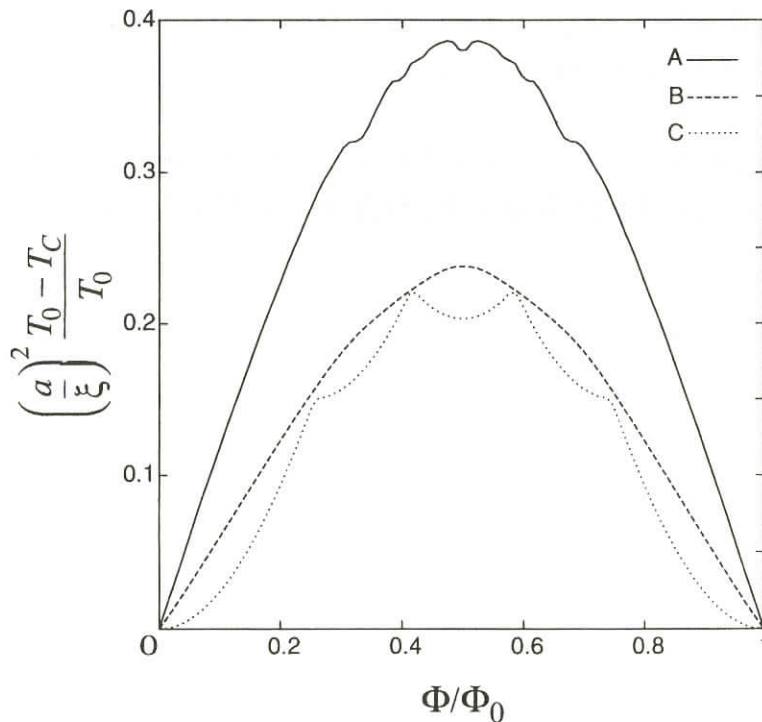
$$\Delta(A) \sum_{A'} \cot \frac{L_b}{\xi} - \sum_{A'} \frac{\Delta(A') e^{i\gamma(L_b)}}{\sin \frac{L_b}{\xi}} = 0$$

となる。ここで $\Delta(A), \Delta(A')$ は1つのボンドの両端の結節点のオーダーパラメーターであり、 L_b は各ボンドの長さ、 $\gamma(L_b)$ はボンドに沿ってベクトルポテンシャルからくる位相である。

これを周期境界条件と固定境界条件を課した蜂の巣格子ネットワークに適用した。下の図には超伝導転移温度の磁場依存性を示した。この図で Φ は一格子当たりの磁束を表わし、縦軸は磁場ゼロの時の転移温度からの現象を表わしている。Aは周期境界条件を課したもの、BとCは固定境界条件で格子点数がそれぞれ 2×2 と 50×50 のものである。

[1] M. Yoshida, T. Ishida and K. Okuda, *Physica C* **357-360** (2001) 608

[2] S. Alexander, *Phys. Rev. B* **27** (1983) 1541



Temporal 秩序をもったクリープ

東大・総合文化 前田 京剛、戸川 欣彦、北野 晴久

高温超伝導体BSCCO系では、磁束格子の並進にともなう、所謂洗濯板振動が観測される[1]。洗濯板振動は、擬一元化の電荷密度波(CDW)やスピン密度波(SDW)などではよく知られた現象であるが、ランダムなピン止めをうけた超伝導体磁束格子が巨視的試料で示すものとしては、初めての例である。

超伝導体磁束格子が示す洗濯板振動は以下の特徴をもっている。

- (1) 洗濯板振動は磁束格子の速度が非常に遅いところ(しばしば通常の電気抵抗の測定限度以下)で観測される(数オングストローム/秒程度)。その振動数の駆動力依存性は、フラックスクリープに基づいた表式でよく表現される。クリープ領域での洗濯板振動は、CDW系でも発見されている。クリープというと、確率過程的な運動を想起させるが、これらの事実は、我々に「クリープ」概念の再構築を迫っている。
- (2) 我々が観測した範囲では、洗濯板ノイズのデータから評価される磁束格子のコヒーレンスは、駆動力が増すほど悪くなってゆくように見える。これは、一般的な理論的予想とは逆である。しかし、洗濯板ノイズが観測されるのは閾駆動力のごく近傍であることを考えると、必ずしも、上記理論予測とは矛盾しないと思われる。実際、いくつかの理論・数値計算ではそれと整合する結果が得られている。
- (3) クリープ領域で洗濯板振動がみえるCDW系では、更に駆動力をあげると、スイッチングが観測される[2]。サイズ効果、X線トポグラフィーなどの実験から、このスイッチング現象は試料に固有の現象であると主張されており、その候補として、動的相転移があげられている。磁束格子でも、駆動力を更にあげたときの振る舞い、とくに、動的相転移が存在するか否かは非常に興味深く、実験的にアクセス可能にする工夫をしなければならない。

超伝導体磁束格子・電荷密度波などのダイナミクスの研究は、界面摩擦のモデル系としての意義をもっており、両者の比較・検討は、界面摩擦現象の機構解明にもつながることが期待され、今後さらなる研究の推進が望まれる。

高温超伝導体 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ における磁束系ダイナミクス

－ノイズ干渉効果の温度依存性－

東大院総合文化 戸川 欣彦、北野 晴久、前田 京剛

超伝導体における磁束系ダイナミクスに関する研究は、密度波・ウィグナー結晶・ジョセフソン格子の位相・ドメイン壁の運動などの多自由度系の運動に共通する現象・概念を探る上でのモデルとして注目を集めている。高温酸化銅超伝導体では、大きな熱揺らぎのため多様な静的磁束状態が現れ、動的挙動にも新たな振る舞いが見出されることが期待される。我々は、駆動された磁束が示す揺らぎ（速度揺らぎ δv と密度揺らぎ δn ）に着目した伝導ノイズ(CN)、局所磁化ノイズ(LDN)、また、交流電流を重畳し強制的に磁束を振動させる干渉の手法を用いて、磁束系の挙動をしらべ、磁束系動的相図をつくることを目指している。

下に示すのは、80K で得られた電流－磁場平面動的相図である。低電流低磁場領域では、抵抗、ノイズ、干渉効果とも観測されず、ピン止めされたBragg glass 相が存在する。電流、磁場が増加すると、まず抵抗が発生し、その周辺でLDN ブロードバンドノイズ(BB-LDN)が観測される。この領域は plastic flow に対応する。さらに電流、磁場が増加すると、干渉効果、BB-CN が観測されるようになり、コヒーレンスの高まったフロー状態が出現する。最後に、磁束格子の一次相転移が起き、動的磁束流体相になる。当日は、このような動的相図について議論を行う。

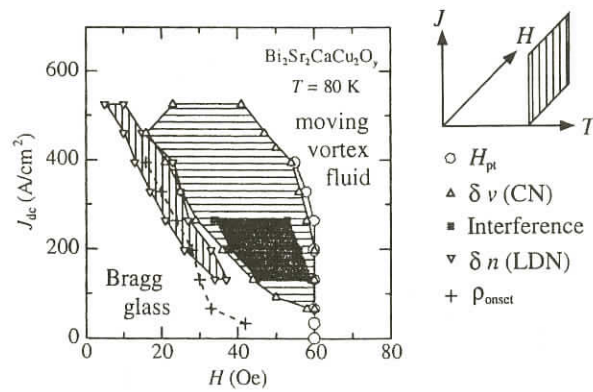


図1：ノイズ、干渉効果の手法により得られた $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ の電流 - 磁場動的相図。

点欠陥を導入した BSCCO の磁束ダイナミクス

日立基礎研・物材機構^A 菅野 量子、小野木敏之、平田 和人^A、立木 昌^A

高密度点欠陥を導入した高温超伝導体BSCCOモデルに関し、ab面内に輸送電流を流すことにより、ローレンツ力で磁束をドライブした非平衡定常状態について、Lawrence-Doniachモデルに基づいたモンテカルロ・シミュレーション法で調べた。その結果、磁束のドリフト速度 v が温度 T の関数として、デピンニング温度 T_{dp} 融解温度 T_m で2回の折れ曲がる非線形な変化を示すことがわかった(図1)。

このことは、これまでに我々が平衡系での磁場-温度相図から数値的に導出した融解転移 (T_m) がデピンニング転移 ($T_{dp} < T_m$) を経る2段階転移であることに合致する[R. Sugano et al., Physica C 357-360,(2001) 428]。また、この2段階の変化は、デピンされたパンケーキボルトックスのドリフト速度 v/n_{dp} によって特徴づけられる。温度の増加に伴い、強くピン止めされたほとんど磁束の静止した状態から、熱的にデピンされた磁束が温度に依存しない電流に比例した速度で運動する粘性の強い状態を経て、熱揺らぎを強く反映したガスフロー状態に移行する。また特に、低磁場、中間温度領域 ($T_{dp} < T < T_m$) のBragg glass相では、準三角格子秩序を保ったままフローするmoving Bragg glass相を形成することを見出した。この結果は moving Bragg glassの可能性を指摘する伝導ノイズ測定の実験結果と一致する[Y. Togawa et al., PRL 85, 3716 (2000)]。また、低温領域では、磁気抵抗のに対応する磁束のドリフト速度の磁場依存性にディップ構造がみられ、 J_c のピーク効果との関連が示唆される(図2)。

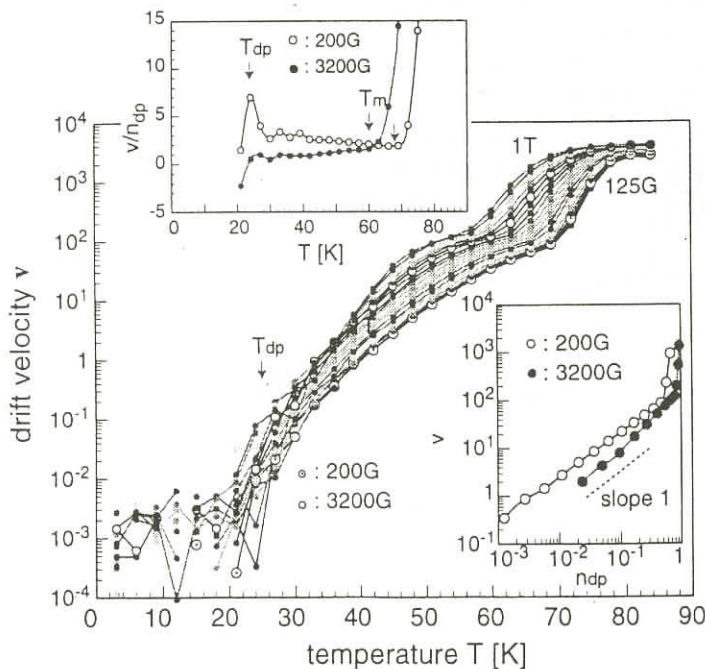


図1 ドリフト速度 v の温度依存性 (磁場をパラメータとした)
 挿入図右下: デピンされたボルトックス割合の関数とした
 ドリフト速度 v (200G、3200G)
 挿入図左上: デピンされたボルトックスのドリフト速度

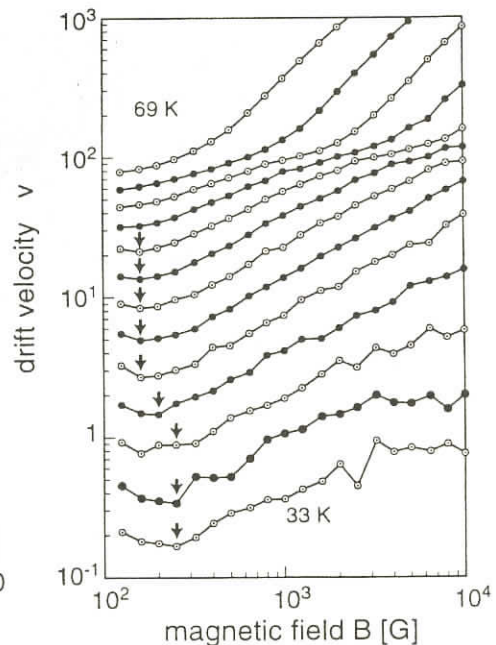


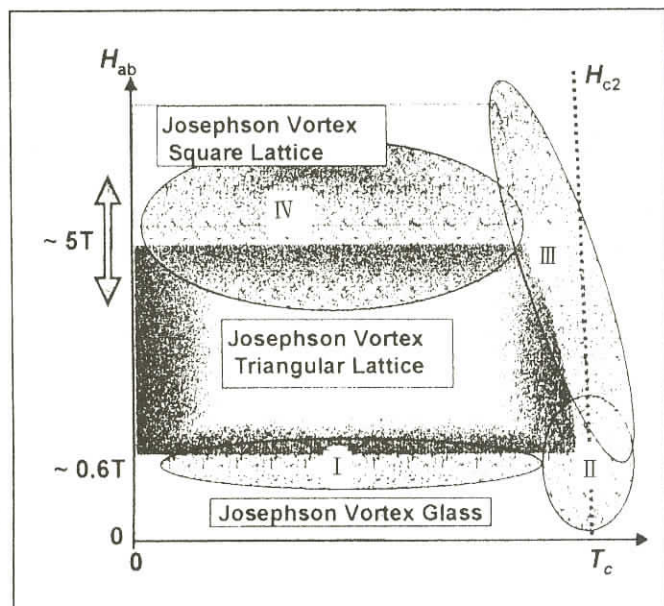
図2 v の磁場依存性

ジョセフソン磁束系の相図

物質・材料研究機構ナノマテ研、超伝導材料研究センター 平田 和人、大井 修一、茂筑 高士

高温超伝導体の超伝導層に磁場が垂直にかけられたときの磁束線相図は、理論、実験の両面からの勢力的な研究により、その全貌が明らかにされようとしている。残された問題は実際の試料では磁束線のピン止め中心が存在し、ピン止め中心を考慮したorder-disorder状態間の相転移などの解明であろう。ところで磁場がc軸方向から超伝導面内へと傾いていった場合、そして、磁束線が超伝導層と平行の場合には実験的な困難さもあり理論的な解明の方が進んでいる。特に異方性の強いBi-2212単結晶では実験例が少なく、等方的超伝導体から異方性の強い超伝導体へと続く磁氣的相図の統一的な解明と実験的検証が磁束線物理の大きな課題として残っている。

これまで我々はジョセフソンプラズマの発振を目標としてジョセフソン磁束系の相図を明らかにすることを意図してジョセフソン磁束線フローの測定を行ってきた。そして、磁束線フローに周期的な振動があることを発見し、振動の起源としてジョセフソン磁束線が三角格子を形成し、コヒーレントな運動をすることにあると結論づけた。ジョセフソン磁束系が三角格子を組むことは理論的には予想されていたが、間接的ではあるが実験的に検証されたのは本実験結果が最初である。磁束線フローに見られる周期的な振動を、磁場、温度、臨界電流密度の観点から測定を進めると非常に興味深い、ジョセフソン磁束系の実態が見えてくる。下図に、模式的な相図を示す。特に興味深い領域をI、II、III、IVで示した。全体的に見るとジョセフソン磁束系では低磁場では三角格子を組まず（胡等のモンテカルロシミュレーションでは極近傍でのみ三角格子を組み、長距離秩序を持たない）、6 kOe 付近から組み始める（領域I）。この磁場は殆ど温度に依存していない（厳密には磁束線侵入長の温度依存性に関係するはずである）。高磁場では約5 T付近から振動の周期が2倍となり（幅が17ミクロンの試料で）、四角格子を形成する（領域IV）。ただし、四角格子を形成する磁場は試料のサイズに依存し、幅が2ミクロン程度になると振動が始まる磁場から既に2倍周期となっている。ジョセフソン磁束線フローを利用したジョセフソンプラズマの励起ではin-phaseの磁束線分布がコヒーレントな発振を目指すには適しているが、サイズが小さくなると絶対的な出力が減少することになる。接合の高さ、或いは、個数で補う必要がある。磁束線物理として最も興味深い領域はI、II、IIIにあり、ジョセフソン磁束系が固体状態から液体状態へと一次転移するかどうかを実験的に確認することが重要であるが、一次転移と判断するには現段階では決定的な証拠はない。



ジョセフソン磁束格子フローにおける有限サイズ効果

日本原子力研究所・計算科学技術推進センター 町田 昌彦

本講演では、異方性が大きい高温超伝導体に対し、CuO面に対し平行に磁場をかけた場合に現れるジョセフソン磁束のダイナミクスとそれに関連した研究結果について報告する。報告内容の概要を以下に示す。

1) 最近、物材機構の大井、平田らのグループは、ジョセフソン磁束フロー状態におけるフロー抵抗に対し、磁場に対する非常に正確な周期的振る舞いをかなり広い磁場範囲(0.5~4テスラ程度)で観測した[1]。彼らの実験結果によれば、フロー抵抗値は磁場と共に周期的に大きく変化する一方、その周期はサンプルサイズにのみ依存する。しかも、その構造がはっきりと観測できるのは、サンプルサイズが十分小さく、磁場は比較的高磁場(テスラ程度)で印加輸送電流は十分に小さい場合だけである。このような事実から、磁束フローの周期的磁場依存性は、メソスケールで初めて観測される物理現象であると位置づけることができる一方、上記の観測条件から類推して、磁束フローの格子構造とサンプルとの整合性が極めて重要な役割をはたしていることが理解できる。本講演では、この実験事実を説明するべく行った擬結合サイゴルドン方程式(プラズマの励起とその伝搬を無視する)の数値シミュレーション結果を報告し、実験結果が示す物理的意味を明らかにする[2]。

2) ジョセフソン磁束フロー状態で、定常的に電磁波が発振することは理論的に知られているが[3]、理論が期待するような強く鋭い電磁波を検出するには、未だ成功していない。この原因として、通常の実験装置の構成では電磁波を十分に取り出すことができないのではないかとこの疑問が存在する。そうした背景の下、講演者は磁束フロー状態で電磁波発振を効率良くし、レーザー型の増幅機能を持たせ、自発的に光発振をポンピングすることができないかと考え、それを可能にする簡単な実験装置の構成について研究を進めてきた。本講演では、磁束フロー状態でレーザー型の増幅が基本的に可能であることを示唆するシミュレーション結果について報告する。また、二つの高温超伝導体によるアレイ構造にも注目し、アレイ型配置でもレーザー型増幅が基本的に可能であることを示す初期的シミュレーション結果についても報告する。これらの結果をもとに磁束フローと電磁波増幅の物理的意味について議論したい。

参考文献

- [1] S. Ooi, T Mochiku, and K. Hirata, (To be published in *Physica C*).
- [2] M. Machida, (in preparation).
- [3] M. Machida *et al.*, *Physica C* **330**, 85 (2000).

Shapiro Step Response in the Coherent Josephson Flux Flow State of Bi:2212

M. B. Gaifullin¹, Yu. I. Latyshev^{2,3}, T. Yamashita², M. Machida⁴, and Yuji Matsuda¹

¹*Institute for Solid State Physics, University of Tokyo, Kashiwanoha 5-1-5,
Kashiwa, Chiba 277-8581, Japan*

²*Research Institute of Electrical Communications, Tohoku University, 2-1-1,
Katahira, Aoba-ku, Sendai 980-8577, Japan*

³*Institute of Radio-Engineering and Electronics, Russian Academy of Sciences,
Mokhovaya 11, Moscow 103907, Russia*

⁴*Center for Promotion of Computational Science and Engineering, Japan
Atomic Energy Research Institute, 2-2-54
Nakameguro, Meguro-ku, Tokyo 153-0061, Japan*

We report the first observation of the Shapiro step response in the Josephson flux flow (JVFF) state of Bi:2212 in high magnetic field ($H \geq 1T$). Stacked intrinsic long Josephson junctions with length $L=30\mu\text{m}$ and width of $W=2.0\mu\text{m}$ were fabricated by double-sided processing of high quality whiskers by using focusing ion beam technique, which were irradiated by microwave at frequencies ranging from 45 GHz to 142 GHz. Steps were observed in JVFF branch on the $I-V$ characteristic at voltage $V_{st}=pNh\nu/2e$, where p is integer, N is the whole number of the junctions in the stack. In the present case Shapiro response is markedly different from conventional one because dc voltage appears due to flux-flow. The existence of Shapiro steps is strong evidence that the Josephson vortices move at the same speed over the whole stack of junctions keeping the high spatial regularity. We also provided measurements at the different orientations of the magnetic field and studied how coherence survives at the various densities of pancake vortices.

異方的超伝導体の渦糸状態における熱伝導率とノード構造

東大物性研・^a東北大金研・^b阪大理

井澤 公一、山口 英正、高橋 豪一、松田 祐司、鈴木 匡俊^a、佐々木孝彦^a、
深瀬 哲郎^a、吉田 良行^b、宍戸 寛明^b、摂待 力生^b、大貫 惇睦^b

ここ20年来、従来のBCS超伝導体とは異なる対称性をもつ超伝導体が数多く発見され精力的に研究がなされている。これら異方的超伝導体の特徴はその超伝導ギャップがゼロになる部分、つまり「ノード」が存在することである。そしてそのようなギャップ構造は、超伝導の引力の起源と密接に関係しており超伝導の発現機構を知る上で非常に重要な情報を与える。しかしこれまで比熱、NMR、超音波吸収、磁場進入長などの温度依存性からギャップ構造が議論されてきたが、これらの結果からギャップの方向依存性を知ることは困難であったためほとんどの異方的超伝導体の対称性は明らかにはなっていない。そこで我々は、テンソル量である熱伝導率に注目し、異方的超伝導体の2次元面内

で磁場の方向を精密に変化させたときの熱伝導率の角度依存性を測定し、 Sr_2RuO_4 、 CeCoIn_5 および κ -(BEDT-TTF) $_2$ Cu(NCS) $_2$ の超伝導ギャップ構造を調べた。

その結果、超伝導状態における Sr_2RuO_4 の熱伝導率の角度依存性に大きな 2 回対称性がみられた。これは、熱流と渦糸の向きが平行な場合と垂直な場合とで準粒子の散乱のされ方が異なることによるものである。さらにこの 2 回対称性以外に非常に小さな 4 回対称性が含まれているが、これはバンドの異方性で説明できることが分かった。この結果は、 Sr_2RuO_4 の超伝導ギャップは面内で等方的、つまりノードが 2 次元面に平行に存在することを示しており、多くの理論の結果（面に垂直なノード）とは明らかに矛盾する。さらに他の実験結果と考えあわせると最も有力な対称性は $d(k) = \Delta_z(k_x + ik_y)(\cos ck_z + \alpha)$ であることがわかった。これは RuO_2 面間でクーパー対が形成されていることを意味している。一方、擬 2 次元重い電子系 CeCoIn_5 および有機超伝導 κ -(BEDT-TTF) $_2$ Cu(NCS) $_2$ では超伝導状態で 2 回対称性に加え、 Sr_2RuO_4 で見られたものよりも 1 桁以上大きな 4 回対称性がみられた。この 4 回対称性は、その振幅の絶対値や極大値をもつ方向を考えると H_{c2} やバンドの異方性からは説明困難であり、超伝導ギャップに d 波的なノードが存在していることの強い証拠を与える。さらに熱伝導率の磁場依存性などを考慮すると、 CeCoIn_5 でノードは $(\pm\pi, \pm\pi)$ 方向にあり、その超伝導対称性は $d_{x^2-y^2}$ であるということが分かった。これは、異方的な反強磁性揺らぎが超伝導形成に重要であることを示唆している。また、 κ -(BEDT-TTF) $_2$ Cu(NCS) $_2$ ではノードの方向は b 軸、 c 軸から 45 度ずれた方向にあり、高温超伝導体と同じ磁気ブリルアンゾーンで考えると対称性は d_{xy} であることが分かった。この結果は、これまで多くの理論により指摘されてきた反強磁性揺らぎを媒介とした超伝導の対称性とは明らかに矛盾する。

一方、 CeCoIn_5 において約 0.7K 以下で磁場を強くしてゆくと、 H_{c2} 直下で熱伝導率が 1 次転移的に飛ぶという非常に興味深い現象が見られた。この 1 次転移は磁化においても見られる。これまで多くの超伝導体が発見されているが、このように H_{c2} で 1 次転移が見られた例はほとんどない。 CeCoIn_5 では常磁性効果が大いことからこの 1 次転移の原因として①パウリ極限、②FFLO 状態、③ランダウ準位のゼーマン分裂の効果、④ボルテックスの量子化におけるスピン磁化の影響、が考えられるがまだそのメカニズムは分かってはいない。しかしながらこの 1 次転移は CeCoIn_5 における混合状態が非常に特異である可能性を示唆している。

渦糸格子状態の局所状態密度と熱伝導率

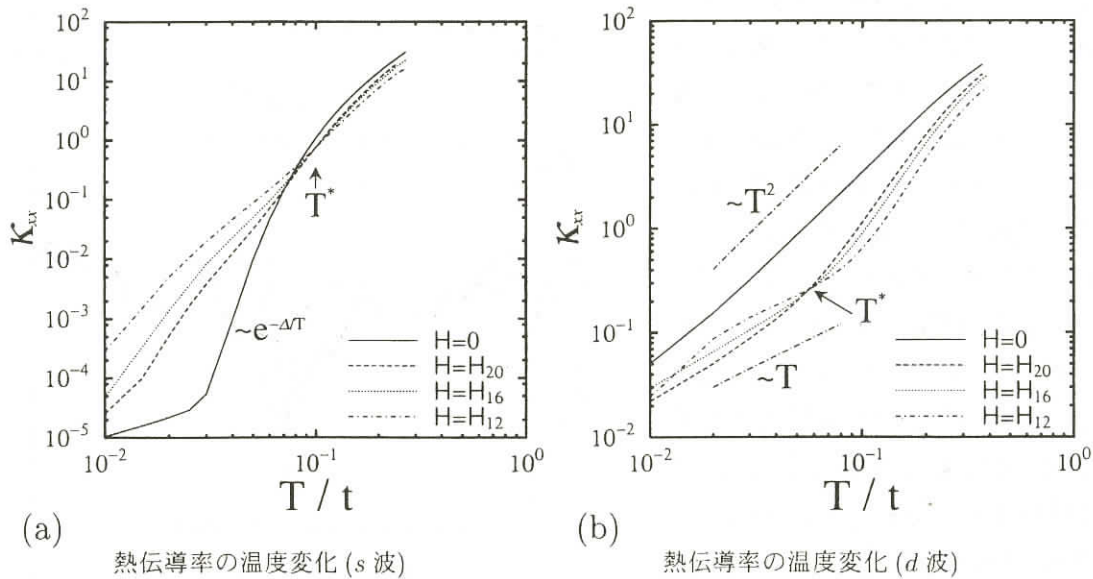
岡山大院自然・理^A 瀧川 光明、市岡 優典^A、町田 一成

等方的 s 波および $d_{x^2-y^2}$ 波の場合について渦糸格子状態の熱伝導率について調べた。線形応答の理論から、熱流・熱流相関を求め、Bogoliubov-de Gennes 理論から得られた渦糸格子の微視的な波動関数を用いて熱伝導率を計算する。

低温での熱伝導率は、その低励起状態を反映して、正常状態では T -linear、バルクの超伝導状態では、等方的 s 波で $\kappa_{xx} \sim e^{-\Delta/T}$ 、ラインノードを持つ d 波で $\kappa_{xx} \sim T^2$ のような温度依存性を持つことが知られているが、我々の定式化でこれを再現する。磁場中では、低温側と高温側で、その磁場依存性が異なっている。この磁場依存性の違いについて調べるため、各温度における熱伝導率の空間的な寄与を調べた。熱伝導率は、 s 波、 d 波ともに、低温側では渦糸芯近傍からの寄与が大きく、高温

側では芯から離れたところの寄与が大きくなる。このことから、磁場依存性の違いが理解できる。また我々は、このような空間的な違いがなぜ起こるのかを、熱伝導率の表式に着目し、最も寄与の大きなエネルギー領域が温度とともに高くなることから、熱伝導率を $\Delta(T)/2$ の上下からの寄与に分解し、各エネルギーでの局所状態密度と比較した。s波の熱伝導率への寄与は、局所状態密度に非常によく対応しているが、d波ではラインノードのため、熱伝導率は状態密度に比べ、より渦糸芯の外へと広がったものとなっている。

これとの関連から、電気伝導率の表式と空間変化についても少し触れる。



LT - STSによる $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ の混合状態における電子状態

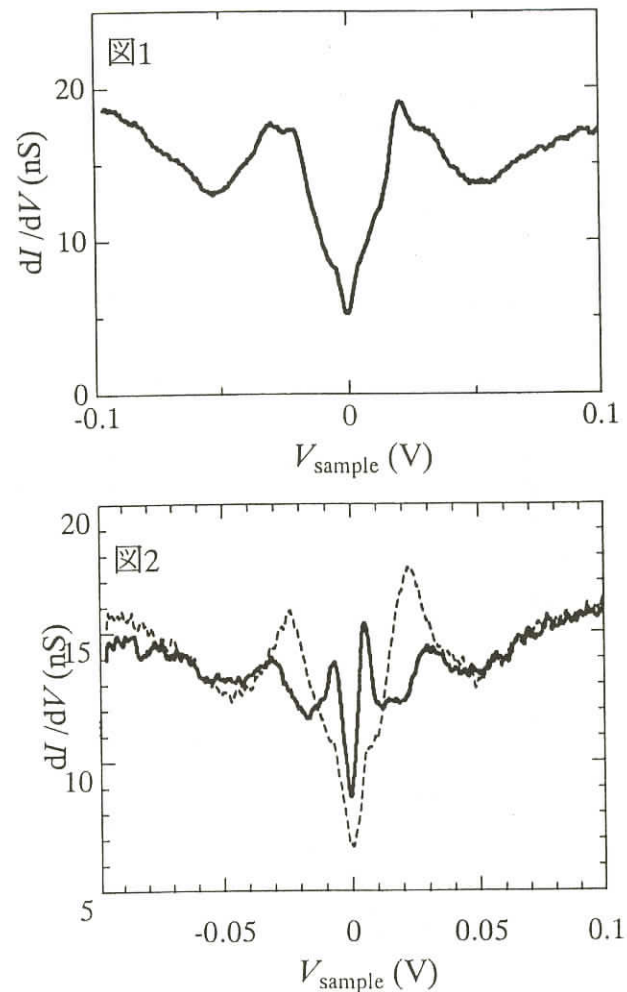
東北大学金属材料研究所 柴田 憲治、真木 一、西寄 照和、小林 典男

走査型トンネル顕微鏡/分光法 (STM/STS)は顕微鏡としては原子分解能を有し、かつ、その原子分解能において試料表面における局所状態密度を高エネルギー分解能で測定することができ、試料表面の物性測定を行なう上で非常に強力な測定手法である。我々は特に、極低温 (約0.3K)、高磁場 (11テスラ)、高真空中において動作可能なSTM/STS装置を有し、これを用いて、主に高温超伝導体の超伝導特性についての研究を重ねてきた。

本研究では、 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ (YBCO)単結晶に対して低温磁場中におけるSTS測定を行った結果を報告する。STS測定によって得られたI-V曲線を一次微分した dI/dV はフェルミ面近傍における局所状態密度を反映する。その空間変化を調べることによって、磁場中における磁束配列、磁束芯準粒子構造、渦糸芯形状について明らかにすることができる。YBCOは表面酸素の脱離が比較的容易に起きるなど、活性な表面を有することで知られており、理想的なトンネル条件を準備することが難しいとされてきた。本研究では、測定に結晶成長終端面を用いることによって安定なトンネル障壁を実現し、超伝導スペクトルの観測に成功した。試料はセルフフラックス法で作製し、その後の熱処理よりわずかにオーバードープ域にあるもの($T_c \sim 90\text{K}$)について測定した。探針は機械研磨したPt/Irを用いた。

図1に±100mVのバイアス電圧までのスペクトルを示す。ゼロバイアスにおいて大きな状態密度を有してはいるものの、明瞭な超伝導ギャップが観測された。探針と試料間の距離を変化させてもdI/dVの形状は変化せず、得られたギャップはYBCOの固有スペクトルであると考えられる。

図2に4.2K, 7 Tの磁場中において観測された2種類のスペクトルを示す。破線で示されたスペクトルはゼロ磁場における超伝導ギャップと一致するのに対して、実線で示されるスペクトルはゼロ磁場では観測されず、磁束格子を直接観測した文献[1]において報告された磁束芯内のスペクトルに一致している。このことから、磁束芯のスペクトルである可能性が高い。しかしながら、現在のところ、スペクトルの空間分布からは磁束芯を特定することはできてない。原因としては、磁束の動きや試料表面の問題等が考えられ、今後の更なる研究が必要である。



[1] I. Maggio-Aprile et al., Phys. Rev. Lett. 75 (1995) 2754

Vortex tunneling spectra of high- T_c superconductors based on the t - J model

CREST^A・名大工^B・東大理^C・産総研^D

土浦 宏紀^A、田仲由喜夫^B、小形 正男^C、柏谷 聡^D

昨年来、Bi系高温超伝導体中のZn、Ni不純物及び磁束芯の近傍における高精度STM/S実験が行われ、高温超伝導体の準粒子状態の理解に大きな進展があった。この中でZn不純物近傍におけるSTSスペクトルは、Zn原子を非磁性の点状強散乱体としてモデル化することで非常によく再現できる。ただし、STM測定に用いられるサンプルにおいてCuO₂面はその表面層(BiO層)の2層下にあるため、不純物束縛状態の空間分布まで再現するためには、 c 軸方向の異方的な準粒子トンネリングを考慮に入れる必要があることが知られている。

一方で磁束芯内のSTSスペクトルには、理論的に予想していたゼロエネルギーピークが全く見られず、その解釈をめぐって現在も様々な議論がなされている。これら議論の多くは、磁束芯内で d 波超伝導以外の秩序状態が局所的に生じるという考えに基づいている。

本講演では、磁束芯内のSTSスペクトルを解釈する上でも上記の異方的 c 軸準粒子トンネリングを考慮する必要性があることを示し、その上で磁束芯内における新奇な状態の必要性と可能性について議論する。

柱状欠陥を含むYBCO膜の磁束系相図と輸送特性の異方性

^A東北大学極低温科学センター、^B東北大学金属材料研究所、^C日本原子力研究所
野島 勉^A、片倉 正弘^A、小林 典男^{A,B}、岡安 悟^C

重イオン照射した $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ では、照射マッチング磁場 B_ϕ の1/3 付近の磁場において、カップリングの変化が起こることが知られる。最近、同様な面間コヒーレンスの変化が $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ (YBCO) においても報告されていることにより、柱状欠陥を含む磁束系は単に Bose glass 転移だけで特徴付けられるものではないと思われる。我々は、この $B_\phi/3$ 異常、グラス転移、各相でのダイナミクスの変化を含む詳細な相図を調べるため、Auイオン照射 ($B_\phi = 2, 3, 4\text{T}$) した YBCO膜の電流電圧 ($I-V$) 特性、臨界電流密度 J_c 、電気抵抗 R の磁場 B 、角度 θ 依存性を測定した。

測定した $I-V$ 特性を Bose glass (BG) 理論のスケールリング則により解析することにより、グラス相転移の磁場変化を調べた。その結果グラス転移曲線 $T_g(B)$ に upturn (図1) と動的臨界指数のピークが $B_\phi/3$ 付近で観測された。同様な磁場で $J_c(B)$ 、 $R(B)$ 曲線にも kink 構造 (図1の B_{G1} , B_{L1}) が観測され、グラス相から液体相につながる $B_\phi/3$ の境界線があることがわかった。さらにグラス相には B_ϕ 付近 (B_{G2}) で $J_c(B)$ に二つ目の kink が、液体相には B_{L2} で微分抵抗 dR/dB の異常が観測され、 $B-T$ 相図は図1に示すよう、6つの領域に分けられることがわかった。Suganoらの計算機シミュレーション[1]によると、柱状欠陥による磁束の trapping rate は、磁場の増加とともに減少し、 $B_\phi/3$ 付近で急激に増加する。この計算と YBCOの膜中での点状欠陥の存在を合わせて考慮すると、 $B_\phi/3$ 以下での磁束状態は Vortex glass (VG) の性質を帯び、グラス相および転移近傍の臨界状態で BG と VG の競合がおこっているものと考えられる。一方、磁場が $B_\phi/3$ 以上になると柱状欠陥の効果が強くなり BG 状態が支配的となると予想される。

以上のことを確認するために、 $T/T_g = 1.02$ での $R(\theta)$ の測定を行った (θ は磁場と柱状欠陥の間の角度)。その結果、図2挿入図に見られるよう、低磁場においては、柱状欠陥の効果を表す $\theta = 0$ の極小は顕著でなく、磁場の増加とともに $B_\phi/3$ 付近から急激に成長することがわかった。また accommodation angle θ_a (挿入図↓) は図2に示す様、 $B_\phi/3$ より急激に増加する。この磁場で柱状欠陥による磁束トラップが顕著になる予想とコンシステントである。

[1] R. Sugano, T. Onogi, K. Hirata, M. Tachiki, Phys. Rev Lett. 80 (1998) 2925.

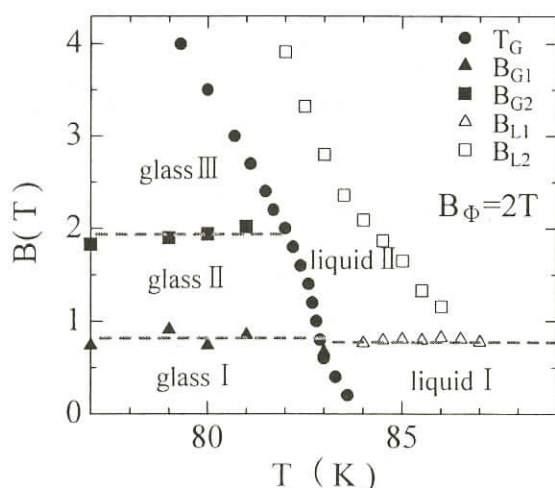


図1 $B_\phi = 2\text{T}$ の試料における磁束相図。

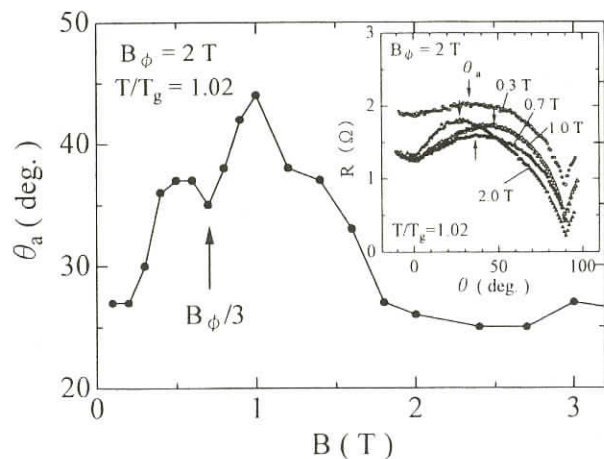


図2 Accommodation angle の磁場依存性。挿入図：各磁場での電気抵抗の角度依存性。

NbSe₂における混合状態の電子状態とCDWの相関

東大新領域 古泉 聡洋、*高木 啓史、花栗 哲郎、野原 実、高木 英典、北澤 宏一
 (*現 古河電工)

超伝導ギャップにノードを持つ超伝導体の混合状態におけるFermiエネルギー ϵ_F での準粒子状態密度、すなわち電子比熱係数 γ が印加磁場 H に対して $H^{0.5}$ に比例する振る舞いをするのはよく知られている。このような γ の振る舞いは、ボルテックス周りの超流体によるエネルギーシフトによって、磁束コア外部にも準粒子が励起されるというVolovikの理論により理解されている。ところがギャップノードを持たないNbSe₂やCeRu₂においても γ が H に比例しない結果が報告されている。このような γ の振る舞いの起源としては、コアのシュリンクのようにコア内準粒子を考えるものとVolovik理論のようにコア外準粒子を考えるものがあるが未だ明らかではない。NbSe₂に関してはCDWが超伝導状態と共存するため、CDWが超伝導に何らかの影響を与えている可能性もある。我々はこの γ の起源を明らかにするため様々なNbSe₂の γ と ρ を測定した。

試料は残留抵抗比RRRが40~100の様々な純度のNbSe₂を用いた。また、RRRが60の試料に等価照射磁場 $B_0=1T$ の重イオン照射をした試料も使用した。重イオン照射によりランダムな柱状欠陥を導入できる。YNi₂B₂Cについてはこのような試料での測定から γ の逸脱の起源がコア外準粒子であることが示唆されている。

図1に示すように γ はRRRが上がると H リニアから大きく逸脱した。また、図2に示すように、CDW転移点 T_{CDW} 以上の抵抗率はRRRにほとんど依存せず、 T_{CDW} 以下でCDW転移に伴うキックが顕著になるほど抵抗率が下がり、RRRが上昇することが分かった。内藤らによると、 T_{CDW} 以上ではCDWの位相が短い距離でゆらいでいることにより温度に依存しない散乱体として働くが、 T_{CDW} 以下でCDWの位相がオーダーするとその散乱が抑えられる。すなわちRRRが大きい試料では位相相関がより発達しているといえる。このようにCDWの発達と γ に相関があることが示唆されるが、準粒子の寿命が延びたことによりコア内励起状態が何らかの影響を受けた可能性もある。

そこで我々はCDWの周期と比べて十分広い間隔の柱状欠陥を導入した試料を用いた。このような試料では、磁束は欠陥部に捕らえられるためコア内の電子状態は変化するが、CDWには影響を与えないためコア内の効果とCDWの効果とを区別することができる。この試料で磁場下比熱を測定したところ、図1に示すように欠陥導入前とほぼ同じ γ の振る舞いを得られた。すなわちNbSe₂における γ の H リニアから逸脱する原因は、コア外準粒子の効果であり、その起源はCDWだと結論された。Volovik効果によるエネルギーシフトはFermi速度 v_F

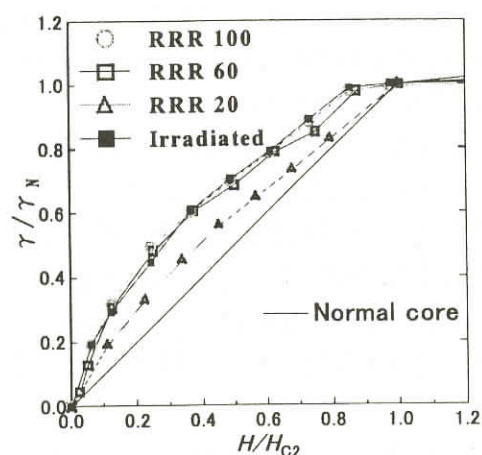


図1

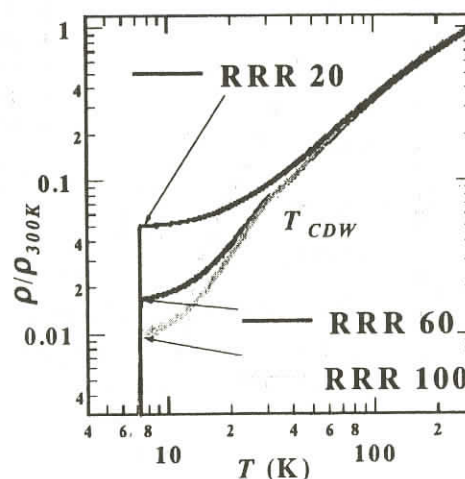


図2

に比例する。CDW 状態ではFermi 面のネスティングにより v_F に大きな異方性が生まれ、 ϵ_F に有限の状態ができるほどの大きなエネルギーシフトを受けている可能性がある。このような機構が働く場合にはギャップノードのない物質に対しても γ の H リニアからの逸脱を説明できると考えられる。

ZnをドープしたYBa₂Cu₃O_y 単結晶の混合状態における表面インピーダンス測定

東大院総合^A、東大新領域^B、東北大金研^C

木下健太郎^A、井上 祐吉^A、土屋 良重^A、花栗 哲郎^B、北野 晴久^A、
前田 京剛^A、西寄 照和^C、佐藤 尚徳^C、小林 典男^C

Effect of Zn doping on the electronic state of the vortex core in the mixed state of YBa₂Cu₃O_y

Dept. of Basic Science, Univ. of Tokyo^A, Dept. of Adv. Material Science, Univ. of Tokyo^B,
IMR, Tohoku, Univ^C

K. Kinoshita^A Y. Inoue^A, Y. Tsuchiya^A, T. Hanaguri^B, H. Kitano^A, and A. Maeda^A,
T Nishizaki^C, T. Sato^C, and N. Kobayashi^C

我々はこれまでに空洞共振器摂動法を用いて複素表面インピーダンス $Z_s = R_s + iX_s$ の温度、磁場、周波数依存性を測定することにより、非双晶 YBa₂Cu₃O_y (YBCO) 単結晶 ($T_c = 90\text{K}$) の粘性係数 η を求め、磁束コアが適度にスクリーン ($\omega_0 \tau = 0.3 - 0.5$) であることを明らかにした[1]。今回は、Zn不純物がコアの電子状態に及ぼす影響について明らかにするため、非双晶 YBa₂(Cu_{1-x}Zn_x)₃O_y (YBCZO) 単結晶 ($T_c = 80\text{K}, x = 0.0088$) に対して 31GHz、及び 43GHz 空洞共振器を用いて同様な測定を行った。Fig.1 は 43GHz における Z_s の磁場依存性と、 R_s を横軸、 X_s 縦軸にとった平面上にプロットしたものである。磁束ダイナミクスの平均場計算[2] (実線) との比較により求められた η 、及びピンニング定数 κ_p の温度依存性を Fig.2 に示す。Znドープによって η はやや減少し、 κ_p に大きな増加は見られなかった。 η から見積もったコア内の準粒子緩和時間 τ_{core} は Znドープによってほとんど変化しなかった。一方、2流体モデルから見積もったマイスナー状態における準粒子緩和時間 τ_{ZF} は Znドープにより大きく変化し、Zn不純物がコア内外の電子状態に異なる影響を及ぼすことが示唆された。

[1] Y. Tsuchiya, *et al.*, Phys. Rev. B 63, 184517(2001).,

[2] M. W. Coffey, and J. R. Clem, Phys. Rev.

Lett. 67, 386(1991).

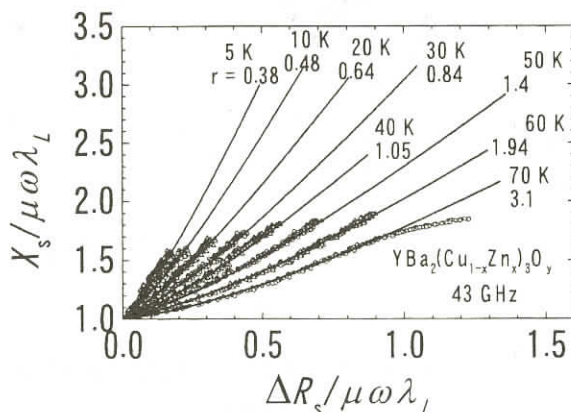


Fig. 1

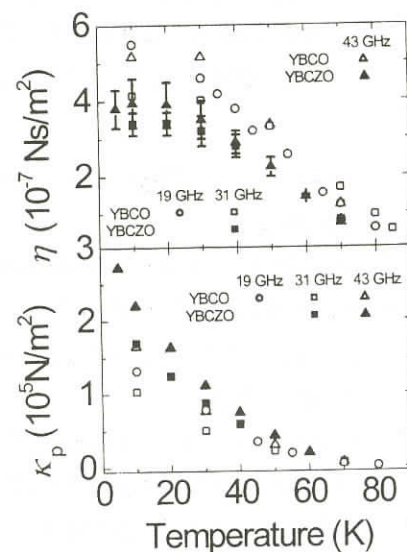


Fig. 2

高温超伝導体におけるジョセフソンプラズマの波数依存性

筑波大物質工 掛谷 一弘、坂口 仁志、阿満三四郎、門脇 和男

Wave - vector dependence of the Josephson plasma in high - T_c superconductors

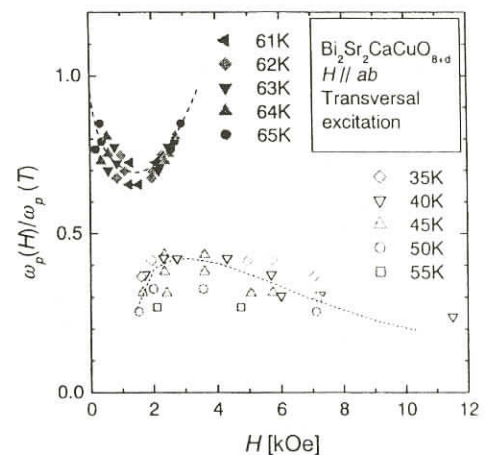
I. Kakeya, H. Sakaguchi, S. Aman, and K. Kadowaki

Institute of Materials Science, University of Tsukuba

ジョセフソンプラズマは超伝導電子の集団励起モードであり、固有ジョセフソン接合系においては高い T_c と異方性のために、ランダウ減衰がほとんど起きず、非常に強い共鳴として観測される[1]。ジョセフソンプラズマには縦モードと横モードのふたつがあり、横モードは単一接合でも存在するので、ジョセフソン効果発見後すぐにAndersonによって議論されている[2]。一方縦モードは電荷粗密波であるので、層状性が不可欠であり、小山-立木によってその重要性が指摘された[3]。従って厳密な意味で固有ジョセフソン接合系に特有のプラズマ現象は縦プラズマであるといえる。縦プラズマにくらべて横プラズマは分散が非常に強いので、筆者らはそれが反映される試料サイズ依存性を利用してふたつのモードをそれぞれ独立に励起できる条件を c 軸方向磁場下で見いだした[4]。すなわち、 c 軸方向の ab 面内で一様な強度の振動電場 ($E_{rf} \parallel c$) により縦プラズマ、 ab 面方向の振動磁場 ($H_{rf} \parallel ab$) により横プラズマが励起される。ごく最近、筆者らによって行われた ab 面近傍磁場角度におけるジョセフソンプラズマ共鳴の研究において、縦プラズマと横プラズマが合成された斜め方向に伝搬するプラズマ共鳴が観測されている可能性が高いことが町田らによって指摘された[5]。これは a b 面近傍磁場下において形成されるジョセフソン磁束格子の c 軸、 ab 面方向の周期から得られる波数をそれぞれ持った縦横のプラズマが合成されて傾斜プラズマが励起されていると解釈される。つまり、ジョセフソン磁束格子が存在するばあい、励起されるプラズマの伝搬方向はマイクロ波の振動電磁場の加わり方によらずジョセフソン磁束格子の周期により決定される、ということになる。われわれはこれを検証するため、これまでに行った縦プラズマ励起 ($E_{rf} \parallel c$) による実験に加え、横プラズマ励起による a b 面近傍磁場下におけるジョセフソンプラズマ共鳴の測定を行った。

図は $H_{rf} \parallel ab$ の条件で行った測定結果である。実験により得られたプラズマ周波数の磁場依存性からサイズ効果を除去し、さらに零磁場におけるプラズマ周波数の温度依存性で規格化した物である。縦プラズマ励起により得られた結果とほぼ同一であり、前述のモデルが確かめられると同時に縦プラズマに特有の現象は得られなかった。

- [1] Y. Matsuda et al., Phys. Rev. Lett. **75** 4512(1995).
- [2] P. W. Anderson, in *Lectures on the Many - Body problem*, vol. 2, pp113, Academic Press 1964.
- [3] T. Koyama and M. Tachiki, Phys. Rev. **B 54** 16183 (1996).
- [4] I. Kakeya et al, Phys. Rev. **B 57** 3108 (1998),
K. Kadowaki et al., Phys. Rev. **B 56** 5617 (1997).
- [5] M. Machida and A. E. Koshelev, private communications.



図：横プラズマ励起条件におけるプラズマ周波数の磁場依存性。

不均一系のジョセフソン・プラズマ共鳴

東大院工 Ecole Polytechnique^A

亀田 直人、徳永 将史、為ヶ井 強、M. Konczykowski^A

近年、ジョセフソン・プラズマ共鳴 (Josephson Plasma Resonance: 以下JPR)は、磁束状態の研究によく用いられている。JPRは周波数 ω_p は、磁束状態と密接な関係があることが知られており、 n 番目と $n+1$ 番目の超伝導面間の位相差 $\Phi_{n,n+1}$ とすると ω_p は、以下ようになる[1]。

$$\omega_p^2 = \omega_0^2 \langle \cos \Phi_{n,n+1} \rangle \quad (1)$$

ここで ω_0 はゼロ磁場のプラズマ周波数である。 $\langle \cos \Phi_{n,n+1} \rangle$ は隣接相関の位相コヒーレンスと呼ばれる量である。このように試料内で均一な $\langle \cos \Phi_{n,n+1} \rangle$ をもつとき、JPRは磁束状態を調べるのに有効な手段となっているが、それに対し $\langle \cos \Phi_{n,n+1} \rangle$ が試料内で不均一なときJPRがどのように振舞うかはわかっていない。そこで不均一性をもたせたBi2212のJPRについて研究した。測定試料の $\langle \cos \Phi_{n,n+1} \rangle$ を不均一にするため、試料半分だけ照射を行った (ハーフマスク)。JPRの測定には空洞共振器を用いた。試料は、空洞共振器内で $E_{ac} \parallel c$ -axis でかつ交流磁場 (H_{ac}) が存在しない場所に置いた。TE₀₁₁ モードでQ値は1000-30000の間である。測定周波数は、24.2-61.1GHzを用いた。外部磁場は、最大9 Tの超伝導マグネットを用い c 軸と平行にかけた。測定は、すべて磁場スイープでおこなった。

ハーフマスクに対して測定周波数をいろいろ変えて測定をおこなった。図1(a)は、同じ温度における測定周波数を24.2から61.2GHzまで離散的に変えたものである。変化が単調でなく特に46.3GHzから56.6GHz間で共鳴曲線が著しく変化する。図2(b)は47.3GHzから61.2GHzの間を細かく測定したものである。高磁場側の共鳴が急激に低磁場にシフトし共鳴強度が減少していることがわかる。一方低磁場側の共鳴は、周波数を上げるに従って共鳴強度が増大し、測定周波数が55GHzを境に高磁場側と低磁場側の共鳴強度が逆転している。低磁場側と高磁場側の共鳴は、それぞれカップルしていない磁束液体状態とカップルしている磁束液体状態と同じ温度依存性をもっていることがわかっていて、このことは低磁場側と高磁場側の共鳴が、未照射側および照射側の寄与によるものだというを意味している。つまり不均一な系であるハーフマスク試料では、照射・未照射の2つの部分があるのにも関わらず、低周波の測定では照射側の寄与の共鳴のみが、高周波では未照射部分の寄与の共鳴のみが観測される。共鳴の寄与が移り変わるような限られた周波数域 (41.7-56.6GHz) でのみ、両方の共鳴が同時に観測できる。ここで低磁場側の共鳴の強度と高磁場側の共鳴の強度が等しくなる周波数をクロスオーバー周波数 ω_{cr} として特徴付けることにする。この試料では ω_{cr} が55GHz付近に存在する。この ω_{cr} は、試料のサイズに依存することが期待される。

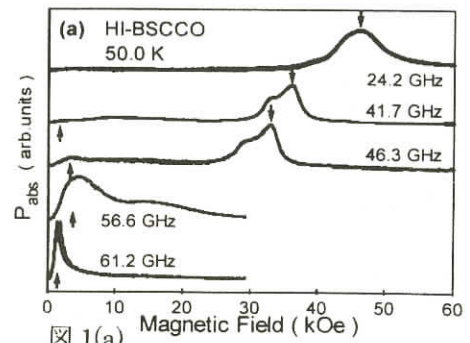


図 1(a)

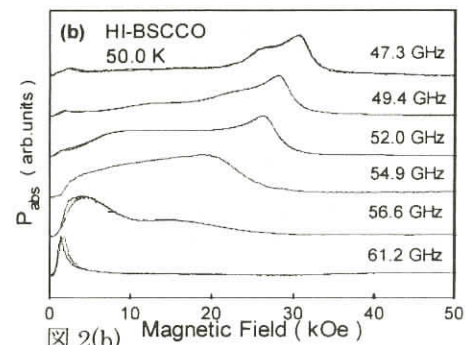


図 2(b)

実際 ω_{cr} は奥行き方向のサイズでのみ決まることがわかったが、依存として ω_{cr} の起因は現在のところ明らかになっていない。

[1] L. N. Bulaevskii *et al.*, Phys. Rev. Lett. 74, 801(1995).

MgB₂の磁気相図と重イオン照射効果

超伝導工学研究所 筑本 知子、村上 雅人 Yuri Eltsev

MgB₂の磁気相図と異方性 [1]

新超伝導体 MgB₂は金属間化合物で比較的高い臨界温度 $T_c=39\text{K}$ を示すが、層状構造を有することから、その電氣的異方性がどのくらいなのか興味深い。そこで本研究では単結晶試料を用い、伝導面 (ab 面) に平行方向および垂直方向に磁場を印加して磁場中抵抗測定を行った。その結果、 $H//ab$ の時には、磁場の増加とともに低温側に転移が平行にシフトするのに対し、 $H\perp ab$ ではいわゆるブロードニングが見られた。Fig.1 に抵抗転移から求めた磁気相図を示す。 H_{c2} から求めた γ の大きさは T_c 近傍では約2.2、30K 以下では約3であった。

MgB₂に対する重イオン照射効果 [2]

重イオン照射を用いて超伝導体内に照射損傷を形成させ、それが磁気特性にどのような影響を及ぼすかを調べた。研究に用いた試料は高压合成法 (1.2GPa, 900°Cx30min) で作製された高密度多結晶試料で、 10^{10} 、 5×10^{10} 、 10^{11} 及び $2\times 10^{11}\text{cm}^{-2}$ の4種類のフルーエンスで5.8GeV Pbイオン照射を行った。TEM 観察の結果、本系においては酸化物超伝導体においてみられているような柱状欠陥ではなく、20nm程度の直径をもつ球状のアモルファス欠陥重イオン照射によって導入されることが明らかとなった。

Fig.2 に 10^{11}ions/cm^2 照射した時の J_c - B 特性の変化を示すが、照射後、低磁場で J_c が低下したものの、高磁場域での J_c 値の増大がみられた。このことは照射によって導入された欠陥が高磁場で有効なピン止め中心としてはたらくことを示している。なお低磁場での J_c の低下については経時変化及び照射による粒界結合の劣化が原因として考えられる。挿入図に照射量を変化させた時の不可逆磁場 (H_{irr})の変化を示す。高磁場での J_c の増大を反映して H_{irr} にも増大がみられ、最大の H_{irr} 値を与える最適フルーエンスは 10^{11}ions/cm^2 であった。

試料を提供してくださったSRLの山本文子氏、Sergey Lee氏に感謝します。本研究は新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託を受けて実施された。また、重イオン照射についてはEcole PolytechniqueのKonczykowski氏との共同研究である。

Reference

- [1] Yu. Eltsev *et. al.*, Phys. Rev. B **65**, 140501(R)(2002).
- [2] N. Chikumoto *et. al.*, to be published in *Physica C*.

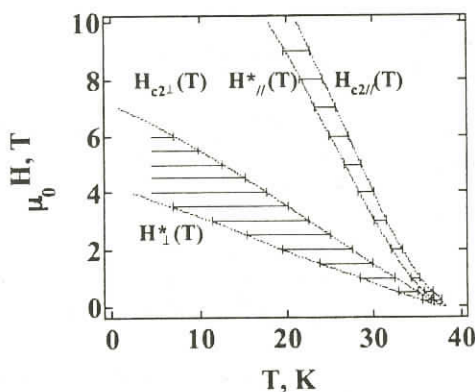


Fig.1 MgB₂の磁気相図。 H_{c2} はonset。 H^* は抵抗ゼロとなる温度から求めた。

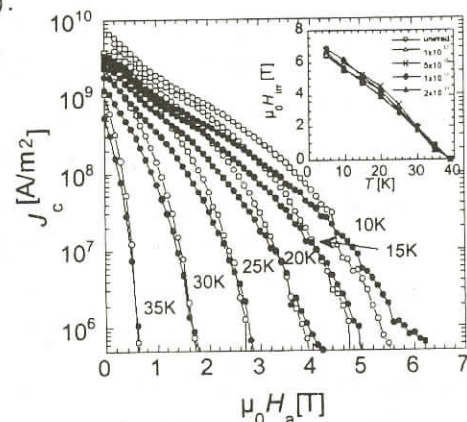


Fig.2 5.8 GeV Pb イオン照射 (照射量: 10^{11}ions/cm^2) 前後の J_c の変化。Inset: Irreversibility line の照射量依存性。

Vortex State and Flux Pinning in MgB₂

Z. X. Shia^a, A. K. Pradhan^a, M. Tokunaga^a, T. Tamegai^a,
Y. Takano^{b,c}, K. Togano^{b,c}, H. Kito^d and H. Ihara^d

^aDept. of Appl. Phys., The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656, Japan

^bNational Institute for Materials Science, 1-2-1, Sengen, Tsukuba 305-0047, Japan

^cCREST Japan Science and Technology corporation

^dNational Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Umezono, Tsukuba 305-8568, Japan.

We have measured the temperature and angle dependence of resistivity at a fixed magnetic field (R - T, I - V, R - angle curves) on single crystals. There is a sudden change of resistivity at some points (T, B, angle) as shown in Fig.1, which can be explained by vortex melting or two-gap model. The effect of field sweep rate on M - H loop has been studied and a shrink of M - H loop at a higher sweep rate has been found as shown in Fig.2, which may be resulted from the heat effect of viscous force on vortex. The scaling behavior of flux pinning force has also been investigated and two pinning force peaks have been found, which is different from the poly-crystal sample. The near-zero peak may be due to the surface pinning or the change of vortex pinning from single vortex to small bundle.

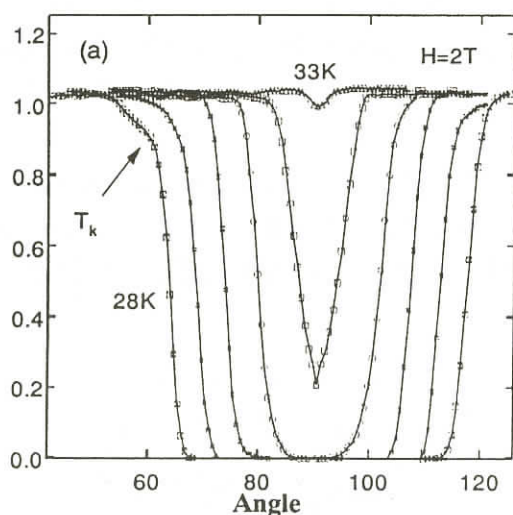


Fig. 1

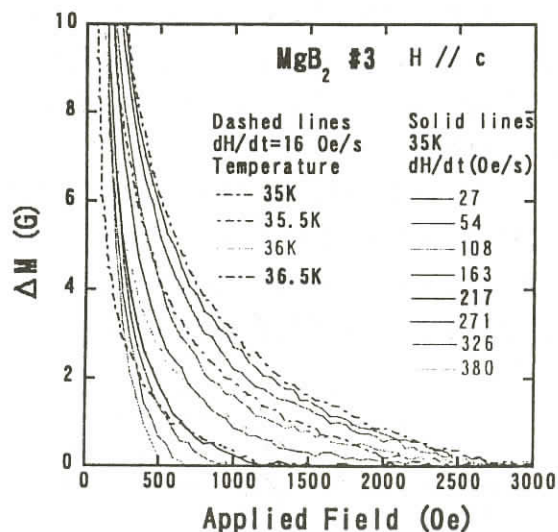


Fig. 2

Sr₂RuO₄ における磁束状態

東大院工^A、京大院理^B、CREST-JST^C、原研^D

為ヶ井強^{A,C}、山崎 浩平^A、徳永 将史^{A,C}、毛 志強^{B,C}、前野 悦輝^{B,C}、岡安 悟^D

高温超伝導体と類似の層状ペロブスカイト構造を持つ Sr₂RuO₄ は、最近のNMRの実験からp波超伝導体であることが確実となった。一方、 μ SRで観測された超伝導移転温度(T_c)以下での緩和率の増大は、時間反転対称性の破れにともなう自発磁化によるものと解釈されている。我々は、このような Sr₂RuO₄ の特異な磁束状態の特徴と超伝導体状態の詳細を調べるため、微小ホール素子および磁気光学効果を用いた局所磁場測定を行った。

報告する内容は (1)局所磁場ヒステリシス (2)局所磁化の角度依存性 (3)重イオン照射効果 (4)自発磁化の探索、である。

(1)局所磁場ヒステリシスには、 H_{c2} 付近と $B=0$ 付近に特徴的な構造があらわれる。前者はシンクロナイゼーションによるピーク効果と考えられる。また、後者は他のp波超伝導体 UPt₃ における類似の現象との類推から、時間反転対称性を破る向きの異なるドメインの境界にピン止めされた磁束と他の磁束との相互作用によるノイズと考えられる。

(2)局所磁化ヒステリシスの角度依存性からは、この系の異方性を見積もることができる。異方的GLモデルによるフィッティングから異方性パラメータ $\gamma \sim 21$ であることが分かる。また、ヒステリシスループは角度の増大とともにつぶれ (図1)、特に $\theta > 80^\circ$ 以上で低磁場での磁化曲線が完全に可逆的となる。これは、磁束系がロックイン転移を起こしたためと考えられる。

(3)重イオン照射は臨界電流密度を増大させる手段として最近よく用いられるが、これにより期待通りの柱状欠陥が生成されるかは自明でない。特に、超伝導特性の良い Sr₂RuO₄ は、電気抵抗率が大変低いため慎重な評価が必要である。今回、 $B_0 = 2\text{kG}$ までの照射により、 $T_c/2$ での臨界電流が約5倍増大することが明らかとなった。また、角度依存性の測定から臨界電流の増大は照射方向から 20° 程度で急激に抑制されることも分かった (図2)。これらのことから、柱状欠陥が有効なピン止め中心として導入されていると考えられる。

(4)自発磁化測定に関しては $10 \times 10 \mu\text{m}^2$ の有効面積を持つ Hall 素子を用いた。これにより観測される磁束密度は最大でも 0.03G である。これが、ドメインの大きさによる平均化の効果であるのか、否か、より小さなホール素子を用いた観測が必要であろう。また、ドメインの存在を直接観測するため、磁気光学効果を用いた測定も進行中である。

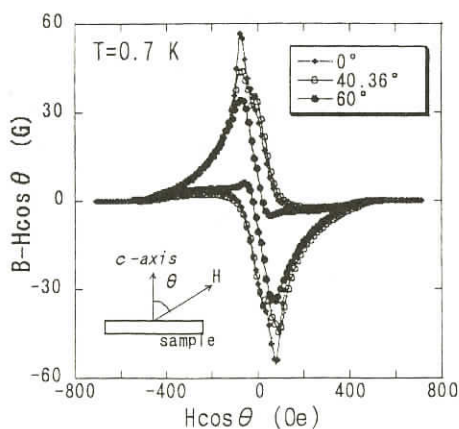


図1

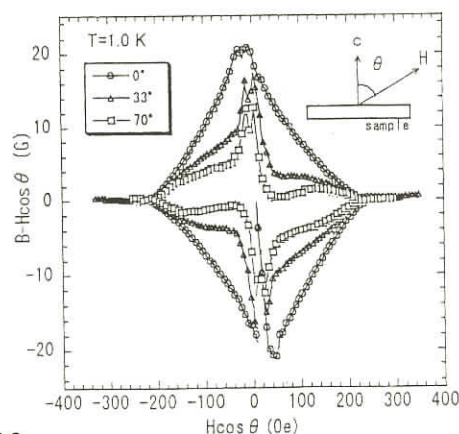


図2

Sr₂RuO₄におけるカイラリティ依存の渦糸ピンング

岡山大総情セ 林 伸彦
東京大学総合文化 加藤 雄介

ルテニウム酸化物 Sr₂RuO₄ を念頭におきカイラル p 波超伝導 $d=z(kx \pm iky)$ を考え、そこでの渦糸ピンングを理論的に議論する[1,2]。また、本講演では、そこで得られた理論的結果に基づいて、Sr₂RuO₄ において実験的に観測された磁化曲線におけるアノーマリー[3] を説明することを試みる。

カイラリティ依存の渦糸ピンング

一個の点状の非磁性不純物による渦糸ピンングポテンシャル (elementary vortex pinning potential) を、準古典グリーン関数法を用いて調べた。

その結果、渦糸の「渦度 (ボルティシティ)」と、クーパー対の内部軌道自由度 ($kx \pm iky$) の「カイラリティ」との間の相対的な向きが、平行か反平行かに依存して、渦糸ピンングエネルギーに違いの現れることが分かった[2]。

この原因は、それらが反平行の時、そしてその時に限って、超伝導オーダーパラメーターのもつ位相ファクターについて、ボルティシティからの位相ファクター $\text{Exp}[i\phi]$ とカイラリティからの位相ファクター $\text{Exp}[-i\theta]$ との打ち消し合いが、渦糸中心近傍を通る準粒子 ($\theta \approx \phi$) に対して起きるからである (すなわち、その反平行の時に限って、渦糸コア内の非磁性不純物 [=ピンングセンター] についてアンダーソンの定理が回復し、フリーエネルギーがその不純物の存在如何に依存しなくなるからである)[1,2]。

[1] Y. Kato and N. Hayashi, J. Phys. Soc. Jpn. **70** (2001) 3368. (cond - mat/0107517)

[2] N. Hayashi and Y. Kato, Physica C **367** (2002) 41. (cond - mat/0108154)

[3] T. Tamegai *et al.*, Physica B **284-288** (2000) 543.

有機超伝導体ジョセフソンボルテックスのNMRによる研究

東大工物工 宮川 和也

有機超伝導体 κ - (BEDT - TTF)₂Cu(NCS)₂ は T_c がおよそ 10K の超伝導体である。二次元的に積層した BEDT - TTF 分子が伝導にない、この伝導層を絶縁層であるアニオン Cu(NCS) が挟み込む構造をとるため擬二次元的な電子状態をとる。

有機超伝導体を用いた NMR による磁束状態の研究は数件存在するが、平行磁場近傍での細かな角度依存性を実験した例はなかった。

我々は、この物質の磁束状態を調べるため、BEDT - TTF 分子の ¹H サイトの 4.5K におけるスピン - 格子緩和率 (T_1^{-1}) の静磁場に対する角度依存性と、¹³C サイトの T_1^{-1} の角度依存および温度依存性の測定を行なった。一般に混合状態での T_1^{-1} は、準粒子によるものと、ボルテックスの運動に起因するものの和となる。伝導電子の密度は ¹H に比べ ¹³C サイトの方がはるかに大きいので、¹H サイト

NMR では磁束の、 ^{13}C サイトでは磁束と準粒子両方の情報が得られる。

過去の ^1H NMR研究により、パンケーキボルテックスのゆらぎが大きな T_1^{-1} を与えることが分かっている。このため、磁場が伝導層に平行な配置に近づくにつれて T_1^{-1} は急激な減少を示す。

今回、角度依存性を詳細に測定したところ、 ^1H NMRでは、 T_1^{-1} が著しく小さくほぼ一定となる角度領域が平行磁場近傍に存在することが見出された。これはパンケーキボルテックスの不在、すなわち磁束のロックイン状態を観測していると考えられる。この角度領域はおよそ0.4度程度で、静磁場の伝導面垂直成分が H_{c1} を越えたときにロックイン状態から外れるというモデルでの計算の値とほぼ一致する。

^{13}C NMRにおいて T_1^{-1} はロックイン状態時には準粒子の寄与で決まるが、 T_c でコヒーレンスピークは観測されず T^g の温度依存性が観測された。ロックイン状態からずっと T^g の温度依存性からずればピークが観測されるようになる。このピークをとる温度を面垂直磁場成分に対してプロットすると垂直磁場下でのAC磁化率測定による磁束格子融解の温度と一致することが分かった。

下部臨界点と渦糸相図について

京大院理 池田 隆介

高温超伝導体の磁場・温度相図の研究は、元々最適ドープのYBCOとBSCCOを対象に行われてきた。これらの物質における高い $H_{c2}(0)$ ($\sim 300(\text{T})$)のために、この相図研究はその低磁場かつ高温域という電子状態の詳細が反映されない状況に限られていたため、多くの物質に共通に適用できる通常のギンツブルク・ランダウ(GL)モデルから出発する統計力学的側面の研究が興味の対象であった。GLモデルから理論的に得られる相図は単一であるから、YBCOとBSCCOではそのドープ依存性を通して定性的に、かつトポロジカルに同じ磁場中相図が実現すると期待されるが、実験事実はそうになっていないように見える。具体的にYBCOでは、異方性が大きく乱れの強いその低ドープ域でボルテックススラッシュ領域と呼ばれる粘性の強いボルテックス液体が理論の予言どおり[1]、クリーン極限の渦糸固体融解転移の名残である1次転移線 $H_m(T)$ の低温側に見られる一方で、より3次元的で乱れの弱い高ドープサンプルでは主として抵抗消失の挙動などから、上記熱的融解線の下部臨界点が存在することがわかっている。これら2種類の現象、殊に下部臨界点はBSCCO族には見られないが、上述の通り理論は一つなので、なぜBSCCOの相図は見かけ上単純なのかを正しい理論では説明できるはずである。実際、揺らぎやピンギの強さからYBCOはブラッググラス相の存在が確認されたNbSe₂とBSCCOの中間に位置する物質であるため、YBCOの相図を中心に理論的理解を進めるのが正しい方向である。この方針で進められた最低ランダウ準位近似によるGL理論を、この理論が下部臨界点の存在を説明できる(現状では)唯一の理論であることも含めて説明し、我々の相図に関する理論的成果を説明した。[2]。

付加的に、最近のBouquetらの高磁場における渦糸液体-液体転移の提案[3]は、YBCOとBSCCOにおける磁化などの T_c 近くでの揺らぎの効果に関する包括的理解に基づいて、誤りであることを指摘し、むしろLLL近似では超伝導秩序パラメータの振幅の揺らぎに関する交差線と解釈するのが自然であると指摘した。さらに、平行磁場での相図の問題についても触れ、YBCOでは融解転移は1次転移となっており[5]、この実験事実も我々の理論のみが説明していることを指摘した[6]。

- [1] R. Ikeda, J Phys. Soc. Jpn. 65 (1996) 3998.
- [2] R. Ikeda, J Phys. Soc. Jpn. 70 (2001) 219.
- [3] Bouquet et al., Nature (2001).
- [4] Rierls and Valls, PRB
- [5] B. Lundqvist et al., Phys. Rev. B 64 (2001) 060503.
- [6] R. Ikeda, J Phys. Soc. Jpn. 71 (2002) 587.

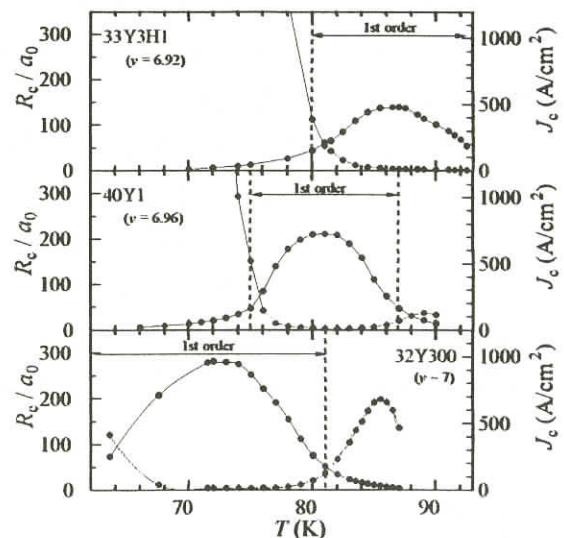
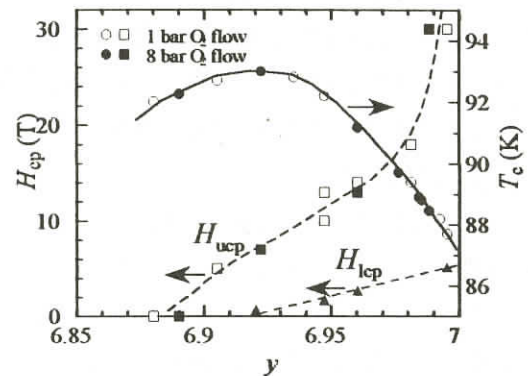
YBa₂Cu₃O_y の渦糸相図－臨界点近傍の挙動－

東北大学金属材料研究所 西寄 照和、柴田 憲治、小林 典男

YBa₂Cu₃O_y(YBCO) の渦糸系における 1 次の融解相転移線は、低磁場と高磁場に 2 つの臨界点 (H_{lcp} , H_{ucp}) を持つことが知られている。これらの臨界点は試料中の不純物や欠陥に強く依存し、点欠陥は 1 次相転移を抑制し、上部臨界を下降させ、下部臨界点を上昇させる方向に働くが、柱状欠陥は下部臨界点を上昇させるが、上部臨界点も上昇させる。我々は、下部臨界点以下の磁場で、渦糸系に何が起きているかを明らかにするために、よく制御された酸素濃度を持つ単結晶試料を用いて、臨界点近傍の電気抵抗と磁化の挙動を調べた。

YBCOでは、渦糸系の 1 次融解相転移は酸素濃度が $y \sim 6.89 - 7.00$ のわずかにアンダードープからオーバードープのキャリア濃度で生じる。酸素濃度の増加とともに、上部臨界点は増加し、7.0 近くで急激に増大する。下部臨界点は 6.92 程度から現れ、酸素濃度とともに単調に増加する。それぞれのキャリア濃度における臨界点よりも高温及び低温で、磁化の磁場依存性に顕著な第 2 ピークが観測される。上部臨界点よりも低温での第 2 ピークについては、今までかなり詳しく調べられてきた。下部臨界点近傍の第 2 ピークの性質を調べるために、第 2 ピークを示す領域で partial loop 法で磁化測定を行った結果、第 2 ピークが立ち上がる磁場 (H^*) において平衡磁化の跳びを観測した。この結果は、この領域では、温度の低下とともに液体相から不可逆磁場を経て、ピン止め力の強い vortex glass 相を形成し、さらに低磁場において vortex glass 相から Bragg glass 相への 1 次転移が起こることを示唆する。

渦糸液体に転移する直下の臨界電流密度 J_c を液体－固体転移線にそって求めた値を下図に示す。 $J_c(T)$



は1次相転移は明瞭に観測される領域で $10\text{A}/\text{cm}^2$ 程度の小さな値を示すが、上部・下部臨界点付近で急激に増大する。集団ピン止め理論によると、Larkin-Ovchinnikov長 R_c は、 $R_c \sim (J_0/J_c) \xi r_p$ であらわされる(J_0 は対破壊電流密度、 r_p はピンポテンシャルの到達距離)。 R_c/a_0 は上部、下部臨界点の間で大きくなりドーム型の温度依存性を示す。すべての臨界点において R_c/a_0 は50程度のユニバーサルな値を示し、この結果は1次転移が出現する臨界点は同じ機構で決定されていることを示唆する。

同様のユニバーサリティーは、エントロピーのとびにも観測され、渦糸系の1次転移は単一の機構によって説明されることを示している。

YBa₂Cu₄O₈ のピーク効果

大阪府大院工 山本 成彰、片山 和雅、石田 武和
超電導工学研究所 安達 成司、田島 節子

YBa₂Cu₄O₈の超伝導異方性は $\gamma_c = 15$ であり、研究が進んでいるY123系($\gamma_c = 8$)とBi2212系($\gamma_c = 200$)との中間にあたり混合状態(磁束状態)がどうなっているのか大変興味深い。我々は、YBa₂Cu₄O₈の磁気トルクを系統的に測定した。

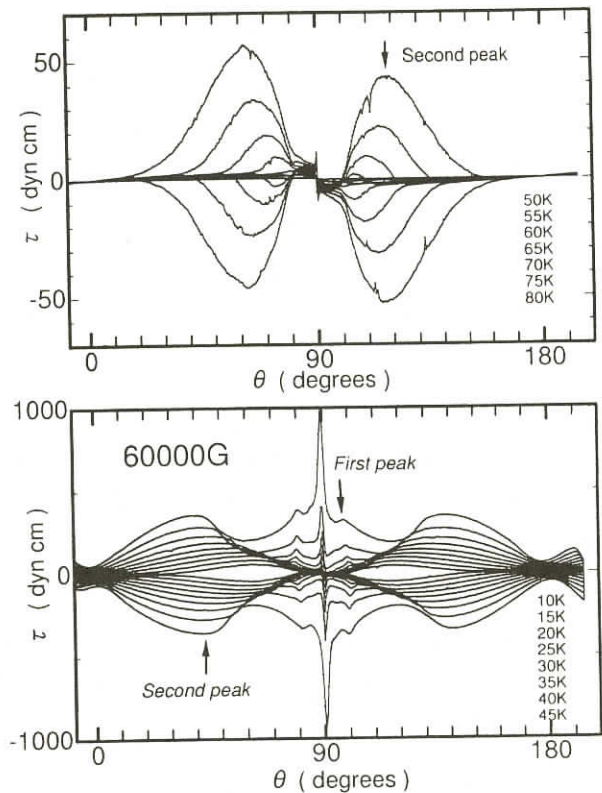
YBa₂Cu₄O₈においても、Y123系、Bi2212系の磁気トルクと同じように $H\parallel c$ での磁化測定に見られるようなピーク効果が見られることはD. Zechらにより報告されている。我々は40K以下においてそのピークとは別の起源となるピーク効果を見いだした。図の第1ピークである。このピークは $H\parallel c$ での磁化測定では見られないことから面内成分磁場が重要な働きをしていると思われる。

異方性が大きいBi2212系では面内成分磁場の作用としてCrossing latticeの概念が提案されている。しかし、 $\gamma_c = 15$ のY124系においてこの磁束系が可能かは不明である。

Bi2212系の磁気トルクにおいてこのようなピークが報告されていないのも事実である。第1ピークが観測される温度領域においては $H\parallel c$ の0度、180度が増大されたトルクの不安定点になっていることを指摘する。

参考文献

- [1] D. Zech *et al.*, Phys. Rev. B54, 12535 (1996).
- [2] A. E. Koshelev, Phys. Rev. Lett 83, 187 (1999).



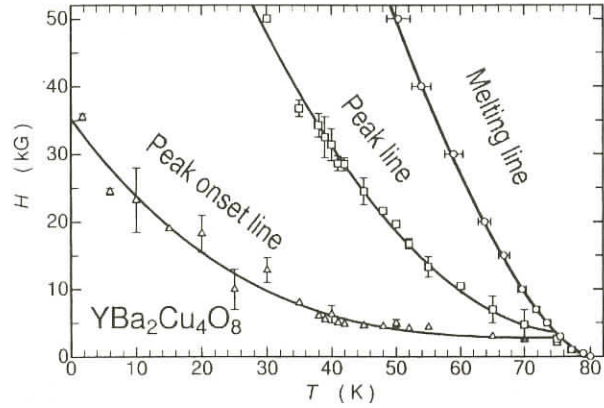
YBa₂Cu₄O₈ の磁束相図

大阪府大院工、超電導工研^A

石田 武和、片山 和雄、山本 成彰、安達 成司^A、田島 節子^A

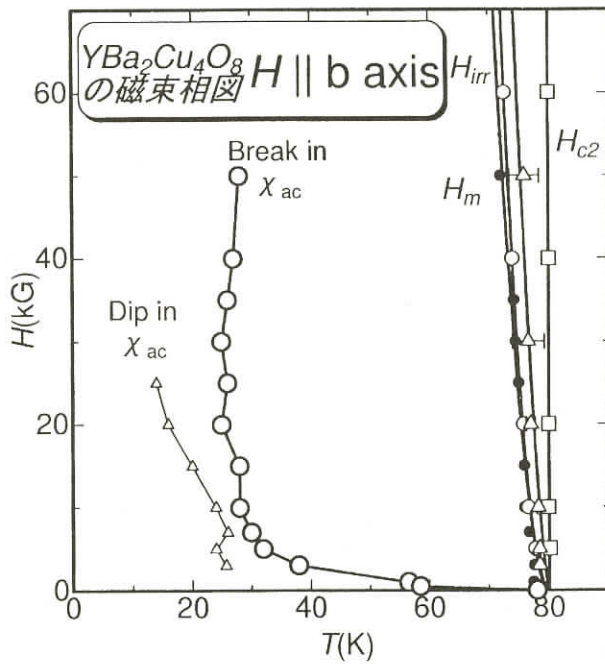
高温超伝導体混合状態の磁束相図の解明は重要な問題である。 $H \parallel c$ 軸の磁束相図は Y123 と Bi2212 を中心に理解が深まっている。両者に類似性はあるものの、磁束相図はかなり異なる。異方性が中間に位置する Y1248 系に興味を持たれる。

最近、我々は Y1248 系の異方性と磁束相図を磁気トルク、SQUID 磁化測定で調べている。これまで、 $H \parallel c$ 配置について交流帯磁率で磁束格子融解が見いだした。



$H \parallel c$ での磁場曲線にはクリーンな Y123 単結晶と同様のセカンドピーク効果が見られる。ピークのオンセットとピークの磁場値をいろいろな磁場に対して整理した結果を図に示す。Bi2212 で見られるような温度にほとんど依存しないピーク効果、Y123 でみられる正の温度傾きをもつピーク効果とも異なる。左の図は $H \parallel b$ 軸の場合の磁束相図である。低温側の磁場にほとんど依存しない曲線は磁場中交流帯磁率の特性を取ったものである。磁束固体相の異常性を反映しているものと思われる。

この研究の一部は NEDO からの援助に依る。



極低温における磁束ガラス転移と量子ゆらぎ

東工大 極低温セ 大熊 哲、東郷 諭、齊藤 文宏、森田真規子

酸化物高温超伝導体の研究により、磁場-温度($B-T$)平面上での多彩な磁束状態・相図の存在が明らかになってきた。しかし、量子ゆらぎの効果が現れる極低温・高磁場域は、まだほとんど調べられていない。極低温域の研究には、臨界磁場の低い超伝導体を用いる必要がある。これまでに従来型超伝導体では、乱れが少なく磁束格子の1次転移を起こすとされる厚い(3次元)アモルファス膜や、準2次元的な有機超伝導体単結晶[1]において研究例がある。ごく最近では、高い転移温度 T_{c0} と適度に高い臨界磁場 B_{c2} を有する MgB_2 系でも、磁束状態に及ぼす量子ゆらぎの効果が議論されはじめている[2]。しかし、筆者の知る限り、低温域で相転移の存在する証拠とその種類を明確に示した実験はない。

われわれは、ミクロな乱れと一様な構造をもつ厚いアモルファス(a -) Mo_xSi_{1-x} 膜(膜厚100nm, 300nm)に対して直流および複素交流インピーダンス測定を行い、極低温・高磁場域までの広い温度磁場領域にわたってボルテックスガラス転移(VGT)の明確な証拠を得ることに成功した[3,4](この研究は、膜厚の薄い極限として2次元超伝導絶縁体転移の研究[5]ともつながる)。最近の実験[4]により、(i) $T \rightarrow 0$ で2次転移線 $B_g(T)$ は $B_{c2}(0)$ より下で磁場軸に垂直にぶつかり[i.e., $B_{c2}(0) - B_g(0) > 0$]、極低温で有限の磁束液体相が存在するように見えること、また、(ii) この液体相では温度の低下とともに電気抵抗ゼロまで落ちず、ある特徴的な温度 T_Q で上に凸から下に凸のカーブを描き、 $T=0$ で抵抗が一定に残るような振る舞いを示すことがわかった。(i) の液体相 $\Delta B_{QVL}(0) [= B_{c2}(0) - B_g(0)]$ は、磁束固体が量子力学的に融解した量子磁束液体(QVL)相であると考えられる。(ii) で見いだされた、抵抗が残る傾向は極低温の限られた温度域でしか観測されないため、これから直ちに $T=0$ における金属相の存在を主張することはできない。しかしこの結果は、温度の低下とともに、 T_Q を境に熱ゆらぎが支配的な領域から量子ゆらぎが支配的な領域に変化していることを示唆している。一方、理論的にはVGTに及ぼす量子ゆらぎや乱れの効果を考察した研究は極めて少なく、微視的視点に立った理論は[6]はほとんどない。

もし、上記(i)(ii)で見出した現象が量子ゆらぎに起因するものだとすると、これらは系ミクロな乱れの影響を受けるはずである。そこで本研究では、乱れ(試料の転移温度 T_{c0} 以上における常伝導抵抗率 ρ_n)が極低温の磁束状態に及ぼす影響を明らかにするため、同一膜厚(100nm)で ρ_n の異なる5つの試料を調べた。結果は、乱れの増大とともに(i) $[B_{c2}(0)$ で規格化した]相対的なQVL相の広さ $[\Delta B_{QVL}(0)/B_{c2}(0)]$ が広がること、また(ii)量子効果が現れはじめるとみなされる特徴的な温度 T_Q/T_{c0} (T_{c0} で規格化した換算温度)も乱れとともに上昇することがわかった。これらの実験結果は、乱れの増加が量子ゆらぎの効果を増大させるという描像と一致する。

- [1] T. Sasaki *et al.*, PRB **57**, 10889 (1998)
- [2] H. H. Wen *et al.*, PRB **64**, 134505 (2001)
- [3] S. Okuma, M. Arai, JPSJ **69**, 2747 (2000)
- [4] S. Okuma, Y. Imamoto, M. Morita, PRL **86**, 3136 (2001)
- [5] S. Okuma, S. Shinozaki, M. Morita, PRB **63**, 54523 (2001); S. Okuma *et al.* PRB **58**, 2816 (1998)
- [6] H. Ishida, R. Ikeda, JPSJ(2002), in press; cond - mat/0105122

有機超伝導体の量子磁束液体状態での磁気量子振動効果

東北大学金属材料研究所

佐々木孝彦、福田 亨、米山 直樹、藤田 敏之、西嶋 照和、小林 典男

(BEDT-TTF)₂X 系有機超伝導体は伝導をつかさどる準2次元的な分子配列パターン (α 、 β 、 κ 、…) を有するBEDT-TTF分子層と絶縁的なアニオンX層の積層により構成される層状準2次元超伝導体である。超伝導転移温度は10K程度と低いが、きわめて純良な単結晶が得られるためクリーンリミット($1/\xi > 100$)に位置し、かつ大きな κ ($\lambda/\xi \sim 100$)を有している。また面内コヒーレンス長は約5 nm程度と比較的に短いために、ゆらぎの効果が現れやすい系でもある。

このようなクリーン系では、低温で様々な量子効果が現れる。磁束系に対しては1)量子ゆらぎによる磁束液体状態(量子磁束液体状態)の発現であり、2)準粒子に対しては磁場中ランダウ量子化による磁気量子振動効果(ドハースファンアルフェン(dHvA)効果、シュブニコフドハース(SdH)効果)の観測が可能になることである。

有機超伝導体 κ -(BEDT-TTF)₂Cu(NCS)₂ において、これまで極低温磁化測定から1)量子ゆらぎによる量子磁束液体状態の発現を検証し[1]、このため $T=0$ Kにおいても有限な磁束液体状態が存在することを示した。また同時にこの状態で2)dHvA効果が観測され、 H_{c2} 以下で振動振幅に超伝導状態での付加的な減衰が観測された。[2]

超伝導状態でのdHvA効果は2H-NbSe₂、Nb₃Sn、V₃Si、YNi₂B₂C、(YBCO?)などで観測されている。[2]そこに現れる付加的な減衰の起源とその機構を調べることで、磁束状態、準粒子状態に対してミクロな情報を得ることができるとは思われるが、特に磁束状態との関連については調べられていない。

今回、 κ -(BEDT-TTF)₂Cu(NCS)₂ において1K以下の低温での量子磁束液体状態とdHvA、SdH効果の関係を詳細に調べた。実験結果を列挙すると

- 1) 有限な抵抗状態である磁束液体状態でSdH効果を観測した。SdH効果にもdHvA効果同様な付加的減衰が観測されるが、磁束液体状態内でSdH効果にのみ付加的減衰に構造(さらなる減衰)が見られる。
- 2) 1K以下の低温で磁束液体状態が2つの領域(低温低磁場側の非線形伝導領域、高温高磁場側の線形伝導領域)に分けられる。この領域境界はちょうどSdH効果に現れる付加的減衰の構造が現れる点に対応している。

この非線形伝導領域の振る舞いはYBCOで議論されている $T_g < T < T_m$ ではされまた“vortex slush”状態に似ている。このような磁束系のshort range lattice order-liquidの状態変化と準粒子状態の変化(準粒子励起と散乱)の関係がSdH効果に現れる異常(dHvA効果には現れない)に反映されていると考えられる。また、量子磁束液体状態と熱ゆらぎによる磁束液体状態の差異の有無について議論したい。

[1] T. Sasaki *et al.* Phys. Rev. B **57**, 10889 (1998)

[2] For recent review, see T. Maniv *et al.* Rev. Mod. Phys. **73**, 867 (2001) and T. J. B. M. Janssen *et al.* Phys. Rev. B **57**, 11698 (1998).

Bi2212における磁束系の量子液体状態

京都大学工学研究科電子物性工学専攻 芝内 孝禎

Bi2212の c 軸方向に磁場を印加した渦糸状態の相図について、これまで非常に限られた低磁場の領域に研究が集中していた。例えば磁化に見られる第2ピークの磁場は0.1テスラ程度であり、上部臨界磁場 H_{c2} に比べ何桁も低い。これは1つには、相図の全様を明らかにするには非常に高い磁場が必要であること、そしてもう1つには高温超伝導体の H_{c2} はクロスオーバーであり、実験的に決めることが難しいことが挙げられる。

今回は米国立高磁場研究所 (NHMFL) の60テスラパルスマグネットを用いた c 軸抵抗の測定から、低温高磁場の渦糸相図を決定したので報告する。Bi2212における c 軸抵抗は、 CuO_2 両間のトンネルによって記述できるので、クーパー対のトンネル (Josephson 電流) と準粒子のトンネルをプローブすることができる。それぞれの磁場依存性が異なることから c 軸抵抗率 ρ_c の磁場依存性はピークをもち、そのピーク磁場では Josephson 電流が小さくなって準粒子トンネル電流が勝るクロスオーバー磁場であると考えられる [1]。したがって、このピーク磁場 (H_{sc} と定義する) ではまだ Josephson 電流のある超伝導状態であり、 H_{c2} はより高磁場にある。また、準粒子の励起スペクトラムには低エネルギーに擬ギャップがあるが、高磁場により擬ギャップを破壊することにより、準粒子トンネルが復活して ρ_c は高磁場に行くに従い小さくなる。この負の磁気抵抗から擬ギャップが閉じる磁場 H_{pg} を見積もることができる [2]。この H_{pg} では、ギャップが完全にない金属の状態になり、超伝導は完全に消え去っており、いわば H_{c2} の上限を決めるものである。

T_c が60Kのオーバードープの単結晶試料を用い、 H_{c2} の下限を決める H_{sc} と H_{c2} の上限を決める H_{pg} を測定したところ、低温極限で両方70テスラに収束することが明らかになった。この結果から $H_{c2}(0) \approx 70$ と結論することができる。また、抵抗がではじめる磁場は低温極限でも30テスラ程度であり、40テスラもの非常に広い磁場範囲にわたって、磁束液体状態が実現していることがわかった。このことは、この系において、量子揺らぎが非常に強いことを意味している。

[1] N. Morozov *et al.*, Phys. Rev. Lett. **84**, 1784 (2000).

[2] T. Shibauchi *et al.*, Phys. Rev. Lett. **86**, 5763 (2001).

多成分系の量子渦構造 - ^3He の場合

北海道大学大学院理学研究科物理学専攻 北 孝文

超伝導 UPT_3 は少なくとも 2 つの秩序変数を持つことが実験的に明らかになっており、また Sr_2RuO_4 でもその可能性が指摘されている。一般に 2 つ以上の秩序変数を持つ系では、通常とは全く異なる渦構造が実現される可能性がある。この研究会では、多成分系の代表例である超流動 ^3He の渦構造を理論的に調べた結果を報告した。

9 つの超流動秩序変数をもつ超流動 ^3He に関しては、ヘルシンキ工科大学のグループにより、回転場 $\Omega \leq 3\text{rad/s}$ での渦構造が実験・理論両面から精力的に調べられ、コアのない渦状態や超流動コアをもつ渦状態など、既に 7 つの異なる渦構造が発見されている。しかし、 $3\text{rad/s} \leq \Omega \leq \Omega_{c2}$ の高速回転磁場中において、どのような渦が実現されるかに関しては、理論的にも未解明のままであった。

用いた手法はランダウ準位展開法で、9 つの超流動秩序変数に対する Ginzburg - Landau 自由エネルギー汎関数を、 $0.01\Omega_{c2} \leq \Omega \leq \Omega_{c2}$ にわたって直接最小化し、安定な構造を決定した。その結果、 $p - \Omega$ 相図上 (p : 圧力) において、少なくとも 5 つの異なる渦構造が存在することを理論的に明らかにした (図 1)。

回転の大きい方から順に、I は polar 状態の三角格子、III は polar コアを持った A 相の mixed - twist lattice, IV は B 相の normal - core lattice, V は B 相で実験的に存在が確認されている A - phase - core lattice である。

また、この計算によると、低圧下の B 相で実験的に見つかっている double - core lattice は、 $10\text{rad/s} - 1000\text{rad/s}$ の間で、A - phase - core lattice に相転移することが予想される。

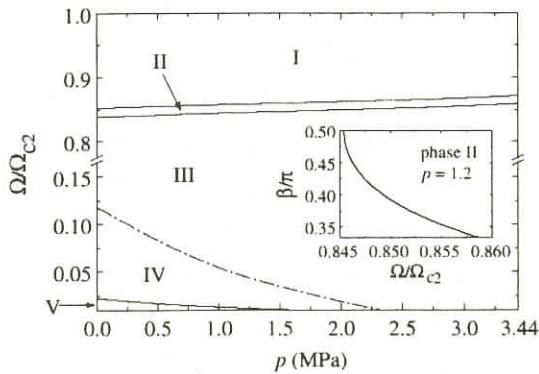


図 1 : $p - \Omega$ 相図

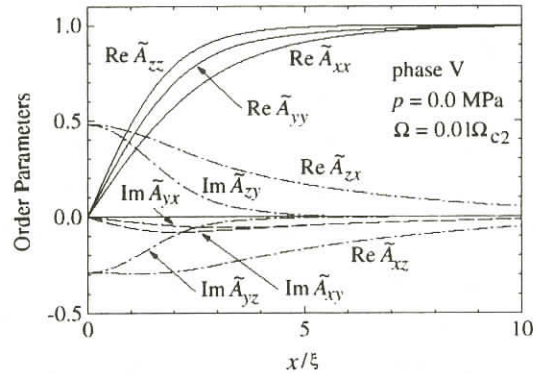


図 2 : V 相での秩序変数の空間変化

参考文献 : T. Kita, Phys. Rev. Lett. 86 (2001) 834.

高温超伝導体の擬ギャップ相における現象論と超伝導ゆらぎ

東北大学大学院情報科学研究科 林 正彦

最近、高温超伝導体の擬ギャップ領域で、異常に大きな超伝導ゆらぎや、超伝導ドメインの存在を示唆するような実験結果が得られている。井口等[1]は、走査型のSQUIDによって $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_2$ の薄膜の表面を観察することによって、局所的に大きな反磁性を示す超伝導ドメインの存在を観測した。また、Xu等[2]は、擬ギャップ領域においてあたかも超伝導体中の渦糸の存在を示すような大きなNernst効果を観測した。これらの実験は、何らかの形で擬ギャップ領域内に超伝導の相関が存在することを示すもので、超伝導発現機構にとっても重要な示唆を与えるものと考えられる。

我々は、 t - J モデル等の高温超伝導のモデルにおいては、擬ギャップ領域で電荷を担うのは自由電子のようなFermionではなくBosonであると言う点に着目し、非一様なポテンシャル中におけるBose凝縮の観点から擬ギャップ領域での超伝導ゆらぎについて考察を行った。

一般に、自由Boson気体では2次元以下においてはBose凝縮は起こらない事が知られている。(Hohenbergの定理)しかし、最低エネルギー状態が離散的な束縛状態であるような非一様な系では、絶対零度付近では全ての粒子が最低エネルギー状態(ポテンシャルの谷間)に落ち込もうとするので、その状態を占有する粒子数はマクロな数になり、Bose凝縮が起きる。もちろん現実の粒子は必ず相互作用を持つはずであり、このようなBose凝縮は妨げられるが、それでも相互作用が十分弱ければポテンシャルの谷間を占有する粒子の密度はバルクでの密度に比べれば十分に大きくなり得る。我々はこのような状況を仮定して、ポテンシャルの谷間において自由なBose粒子が示す反磁性の大きさを計算した。その結果、波数 \mathbf{q} の反磁性電流は、

$$\mathbf{j}_p = -\frac{e}{m} \left[\frac{1}{16\pi} \left\{ \log(e^{-\beta\mu} - 1) - \frac{1}{e^{-\beta\mu} - 1} \right\} |\mathbf{q}|^2 + O(|\mathbf{q}|^4) \right] \mathbf{A}_q \quad (1)$$

で与えられることが分かった。ただし、 \mathbf{j}_p 、 \mathbf{A}_q は電流およびベクトルポテンシャルを表し、 e 、 m 、 μ はそれぞれBosonの電荷、質量、化学ポテンシャルを表す。この式より、反磁性応答は化学ポテンシャルがゼロに近づくにつれて著しく増大することが分かる。これは、Fermi粒子系における反磁性がFermi温度より十分低温でほとんど温度依存性を持たない(Landau反磁性)のと対照的である。もちろんここで現れる反磁性はMeissner核が端数 \mathbf{q} の2乗に比例するもので、いわゆる完全反磁性ではない。しかしながら、有限の波数での反磁性の増大は局所的に強い反磁性応答を引き起こし、井口らの実験において観測されているような超伝導ドメインを出現させる可能性がある。

実際の実験との比較のためには、さらに幾つかの要素を考慮する必要がある。その一つは、Coulomb相互作用の効果である。現実にはBosonの局所的な密度は局所的なdoping率の影響を大きく受ける。このことを取り入れるためには非一様なポテンシャルの中で、Hartree-Fock近似を行う必要がある。これは今後の課題である。また、Bosonの反磁性応答関数についても、自由なBose粒子のそれを用いるのは現実の相互作用するBose粒子の近似としては不十分と思われるので、今後改善の余地があるだろう。

参考文献

- [1] I. Iguchi, T. Yamaguchi and A. Sugimoto, Nature **412**, 420.
- [2] Z. A. Xu, N. P. Ong, Y. Wang, T. Kakeshita and S. Uchida, Nature **406**, 486.

フォースフリー磁束系の臨界現象と非エルミート量子力学

物質・材料研究機構(NIMS) 計算材料科学研究センター

田中 秋広

超伝導体の z 方向に外部磁場をかけてつくった磁束格子系に対して、更に z 方向の外部電流 J_{ext} をかけてみる。磁束線が剛直な直線である場合にはローレンツ力が働かないことから、この状況はフォースフリー磁束系と呼ばれる。

現実には揺らぎによって xy 面内成分を持つセグメントが生じ、そこにローレンツ力が作用することになる。単一磁束線に対する運動方程式を解くと、 z 軸まわりにヘリカルな形状を示すことがBrandtによって示されている。これがフォースフリー磁束系のヘリカル不安定性である。ここに磁束間の相互作用や乱れが効いてくるときに、磁束系がどういう性質を示すかは興味深い問題である。理論的には、定まった巻き付きも方向（カイラリティー）を持った分子（DNA分子等）の統計力学と深い関連もあり、生体高分子を模した磁束系の自己組織化、機能性発現への応用という、磁束系物理の新たな発展方向も考えられる。

近年、コラムナー欠陥からの磁束線のディピニング転移を非エルミート量子力学(NHQM)の問題として解析できることがHatano-Nelsonにより示された。

ここでは、上記のフォースフリー磁束系にNHQMを適用するアプローチについて述べる。まず電流下の一本の磁束線の自由エネルギーは次式で記述される。

$$F = \int dz \left[\frac{\kappa}{2} \left(\frac{d\vec{r}}{dz} \right)^2 + \alpha \frac{d\vec{r}}{dz} \cdot \vec{r} \times \hat{z} + U(r(z)) \right], \alpha \propto J_{\text{ext}}$$

U はランダムネスと相互作用を含むポテンシャル、右辺第二項はカイラリティーを決定している項である。 z 方向を虚時間と見た量子系の問題に直すと、ハミルトニアンは次のように書ける。

$$z \rightarrow \tau \rightarrow it \Rightarrow H = \frac{1}{2\kappa} (\vec{p} + i\alpha\vec{a})^2 + U, \quad \vec{a} = \vec{r} \times \hat{z}$$

ベクトルポテンシャルが虚数であるため、これはNHQMである。Hatano-Nelsonの問題ではベクトルポテンシャルは定数であったのに対し、ここでは空間依存性を持つ点に注意していただきたい。ランダムネスのない場合、この時間発展を扱うことにより、準周期的な磁束構造を導くことができる。 U に含まれるランダムネスを考慮したとき、巨視的なカイラリティーを発現するか否かは、Feinberg-Zeeの処方箋でランダム行列の問題として扱え、クラスA IIIの系の局在・非局在転移のユニバーサリティーを示すことが予想される。

物性研究所ISSPワークショップ

ISSP Theory Forum for the 21 Century

日時 2002年3月7日(木) ~3月8日(金)

場所 東京大学柏キャンパス物性研究所 6階大講義室

世話人 常行 真司 (東大物性研/東大院理)
小形 正男 (東大院理)
永長 直人 (東大院工)

高温超伝導体やカーボンナノチューブなど新物質の発見、あるいはメゾスコピック系やソフトマテリアルといった研究対象の多様化は、物性科学を実用的にも学問的にもより豊かなものにする一方で、研究分野の細分化・専門化をもたらし、実験、理論を問わず分野間の交流を困難なものにしつつあります。プロジェクト研究を重視する国の研究費配分もまた、そのような傾向を加速するものでしょう。しかしながら基礎的な物理概念や研究手法の多くは分野間に共通であり、他分野の研究状況を知るとは各分野のさらなる展開に、また分野横断的あるいは俯瞰的な視点は物性科学研究の新しい方向性を見定めるのに有益であると思われます。このような観点から、物性理論研究の次世代を担う若手理論研究者が分野の壁を越えて討論を行う場として、本研究会を企画しました。

口頭による講演者には他分野の参加者向けにレビューを含めた講演(25分+5分)を依頼し、一般講演はポスターとしました。また若干名の実験家にキーノートスピーチをお願いして、理論家に対する問題提起を行っていただきました。年度末の急な企画にもかかわらず90名をこえる多数の参加者があり、分野の壁をこえた活発な質疑応答が行われ、たいへん有意義なワークショップとなりました。

プログラム

3月7日(木)

10:00~12:20

はじめに(10分)

常行 真司

走査プローブ顕微鏡とその周辺の物理現象—密度汎関数法をベースとした理論解析

渡邊 聡(東大院・工)

銅酸化物超伝導体における擬ギャップ現象と相図

小林 晃人(名大・理)

古くて新しい量子ダイナミクスの問題 — ESR を例にして —

押川 正毅(東工大院・理)

人工物質系の量子コヒーレンス [キーノートスピーチ 35分+5分] 勝本 信吾(物性研)

[12:20~13:30 昼食]

13 : 30~15 : 00

第一原理分子動力学法による固体表面の構造、電子状態と反応過程の研究

森川 良忠 (産総研)

高温超伝導関連物質における電子状態と輸送現象の理論的研究

紺谷 浩 (埼玉大・理)

摩擦の物理

松川 宏 (阪大院・理)

[15 : 00~15 : 20 事務連絡、休憩]

15 : 20~16 : 30

光で起こす協同現象とその特徴 [キーノートスピーチ 35分+5分]

腰原 伸也 (東工大院・理)

有機導体の次元性、電子相関、非線形励起とダイナミクス

米満 賢治 (分子研)

16 : 30~20 : 30

ポスターセッション

プレビュー (一人2分) に引き続きポスターセッション

3月8日 (金)

9 : 30~11 : 00

第一原理計算によるナノスケール炭素物質の物性

岡田 晋 (筑波大・物理学系)

密度汎関数理論に基づいた強相関電子系の有効理論とその可能性

草部 浩一 (新潟大院・自然科学)

超伝導磁束渦糸状態の微視的理論計算

市岡 優典 (岡山大・理)

[11 : 00~11 : 10 休憩]

11 : 10~12 : 20

2次元有機系における超伝導周辺の電子相 [キーノートスピーチ 35分+5分]

鹿野田一司 (東大院・工)

Novel Optical Responses in Mott Insulators

遠山 貴己 (東北大・金研)

[12 : 20~13 : 30 昼食]

13 : 30~15 : 10

レーザーによる気体原子運動の制御—冷却から原子気体BECへ— [キーノートスピーチ 35分+5分]

久我 隆弘 (東大院・総合文化)

原子気体のBEC : レビューと今後の展望

上田 正仁 (東工大院・理工)

GW近似に基づいた電子構造計算

三宅 隆 (東工大院・理工)

[15 : 10~15 : 30 休憩]

15:30~17:00

強相関系における揺らぎと電子状態～二重交換系の場合～
密度行列繰り込み群の方法と最近の進展
計算統計力学の展望

古川 信夫 (青山学院大・理工)
柴田 尚和 (東大院・総合文化)
伊藤 伸泰 (東大院・工)

17:00 終了

ポスターセッション

- 1 野村健太郎、吉岡大二郎 (東大総合文化)
層量子ホール系の基底状態における数値的研究
- 2 橋本 保、森川 良忠、寺倉 清之 (産業技術総合研究所 計算科学研究部門)
Rebonded SB step model of Ge/Si(105)2x1: A first - principles theoretical study
- 3 肘井 敬吾、野村 清英 (九大・理)
体相互作用を伴うスピン梯子系
- 4 前橋 英明 (阪大産研・COE 派遣研究員)
Singular Effects of Impurities near the Ferromagnetic Quantum - Critical Point
- 5 岸木 敬太 (産業技術総合研究所)
擬二次元多バンド系におけるde Haas van Alphen 振動の一般的な公式
- 6 筒井 元樹、大木 真吾、古川 信夫 (青山学院大・理工)
(物性理論研究のための) PC クラスタ型並列計算機の構築
- 7 久保木一浩 (神戸大学理学部)
異方的超伝導体と磁性体の近接効果
- 8 高木 祥光、草部 浩一 (新潟大・自然科学研究科)
グラファイト・エッジ状態を持つ高次元タイトバインディングネットワーク
- 9 合田 義弘、渡邊 聡 (東大工)
金属表面上のナノ構造からの電界電子放出
- 10 石井 晃^{#*}、三宅 大助[#]、谷口 允悠[#]、逢坂 豪[#] (#鳥取大工、*産総研)
第一原理計算によるGaN(0001) エピタキシャル成長の新しい方法の提案
- 11 初貝 安弘、笠 真生 (東大院・工)
異方的超伝導におけるスピンホール伝導度とDirac 単磁極
- 12 笠 真生、初貝 安弘 (東大院・工)
粒子正孔対称性とゼロエネルギーエッジ状態 - d波超伝導とグラファイトシート-
- 13 坂井 徹 (都立科技大)
低次元磁性体の磁化過程に見られる量子現象
- 14 金田 亮 (東北大学大学院工学研究科 応用物理学専攻)
キネシン分子モーターの2足歩行モデル
- 15 三牧 旬 (阪大理・東大物性研)
AlOOH 高压相の電子状態計算

- 16 中村 統太、伊藤 良行 (東北大工)
Trotter 数に依存しない実空間量子系のダイナミクスを実現する量子モンテカルロ法
- 17 桑原 真人 (神戸大)、米満 賢治 (分子研)、太田 仁 (神戸大)
3 倍周期電荷秩序を伴ったモット転移近傍における自己ドーピングと非整合状態
- 18 柳瀬 陽一 (東京大学理学系研究科)
スピン三重項超伝導の内部自由度に関するマイクロ理論：
スピン-軌道相互作用による Sr_2RuO_4 の D-ベクトルの決定
- 19 鈴木 正 (東北大理)、加藤雄介 (東大院総合)、倉本義夫 (東北大理)
分数量子ホール系の動的応答における準粒子励起
- 20 西川 裕規、池田 浩章、山田耕作 (京大院理)
Perturbation Theory on the Superconductivity of Heavy Fermion Superconductors
 $\text{CeIr}_x\text{Co}_{1-x}\text{In}_5$
- 21 梅澤 直人、常行 真司 (東大物性研/東大院理)
Transcorrelated Method による電子状態計算
- 22 重城 貴信 (京大理)
フェルミ液体論に基づく高温超伝導体の磁場侵入長
- 23 取り消し
- 24 島田 尚、伊藤 伸泰 (東大院・工)
Hamiltonian mean-field Model に見られる準安定状態と Tsallis 統計
- 25 渡邊 宙志、伊藤 伸泰 (東大院・工)
非平衡緩和法による二次元固液転移の研究
- 26 求 幸年 (ERATO-SSS, JST)、古川 信夫 (青学大理工)
Impurity Effects in Double-Exchange Systems
- 27 渡辺 真仁 (東大物性研)、三宅 和正 (阪大基礎工)
強磁性超伝導体 UGe_2 における異常な物性とその起源としての結合した CDW と SDW 揺らぎ
- 28 赤木 和人、常行 真司 (東大物性研)
Si(001) 表面に規則的に吸着された不飽和環式炭化水素の構造と反応性
- 29 望月 維人、今田 正俊 (東大物性研)
ペロフスカイト Ti 酸化物における磁気-軌道状態の相転移
- 30 Hans-Georg Matuttis (Institute of Applied Physics, School of Engineering, University of Tokyo)
Simulation of Triaxial Compression of Granular Materials
- 31 草部 浩一 (新潟大自然)、田仲由喜夫 (名古屋大工)
量子ドットにおけるジョセフソン効果の数値解析
- 32 二国 徹郎 (University of Toronto), James E. Williams (NIST), Charles W. Clark (NIST)
Spin Dynamics in a Dilute Bose Gas
- 33 町田 学、齊藤 圭司、宮下 精二 (東大工)
周期外場下における量子局在現象の振動数依存性
- 34 梅川雅文 (東理大理工)
LAPW をベースにした FLEX 近似のバンド計算

- 35 御領 潤 (物性研)
Berry phase, “adiabatic pumping” and spin quantized Hall effect in vortex states
- 36 妹尾 仁嗣 (産総研 CERC、JST)、小形 正男 (東大理)、福山 秀敏 (東大物性研)
マグネタイトにおける金属絶縁体転移の理論
- 37 吉本 芳英 (東大物性研)、常行 真司 (東大物性研/東大院理)
First-principles study of inter nitrogen interaction energy of Cu(100)-c(2x2)N surface
- 38 桃井 勉 (筑波大・物理学系)
量子ストライプの融解転移
- 39 松川 宏 (阪大院・理)
介在物のある摩擦の有効モデル
- 40 岡田 晋、白石 賢二、押山 淳 (筑波大学物理学系)
Si(111) 表面上のナノスケールネットワーク構造における磁性
- 41 Kurt Fischer, Hans-Georg Matuttis, Nobuyasu Ito, Masamichi Ishikawa
Quantum Computing using Auxiliary Field Methods
- 42 瀧川 光明 (岡山大 理 物理)
渦糸まわりの準粒子状態と核磁気緩和率・熱伝導率
- 43 堀田 知佐 (物性研)
擬2次元有機導体のバンド構造と物性
- 44 河野 浩、三宅 和正 (阪大基礎工)、播磨 尚朝 (阪大産研)
2次元層状電子ガスの超伝導: MgB₂, Li-HfNCl への応用

走査プローブ顕微鏡とその周辺の物理現象 －密度汎関数法をベースとした理論解析

東大工、科技団CREST 渡邊 聡

走査プローブ顕微鏡は局所的な構造・電子状態・物性を測定するための大変有力な道具であるが、プローブ－試料間の強い相互作用や測定時に印加される局所的な高密度電流・強電界などのために測定結果の解釈は必ずしも容易ではない。そして、走査プローブ顕微鏡の測定結果やその周辺の物理現象を理論解析することにより、原子や電子の状態、およびそれらに関する微視的素過程について興味深い知見が得られる場合がしばしばある。

本講演では、そのような例としてまず $\text{Si}(111)\sqrt{3}\times\sqrt{3}-\text{Ag}$ 表面の走査トンネル顕微鏡 (STM) 像の理論解析を紹介する。この表面の最安定原子構造は、最近になって従来信じられていたものと若干異なっていることがわかり、このため室温 STM 像の解釈を見直す必要が出てきた。そこで密度汎関数法計算結果に基づくモンテカルロ計算を行った結果、室温の STM 像は構造の不規則な揺らぎの時間平均像として理解できることがわかった。さらに、60K の低温で明瞭に観察される表面双晶境界の像も、構造揺らぎの時間平均として理解できることがわかった。一見静止した構造に対応するように見える明瞭な STM 像が時間平均に対応する、というのは興味深いと同時に注意を要する点である。

次に、高いバイアス電圧をプローブ－試料間に印加した場合に両者の間に形成される電子定在波状態の理論解析を紹介する。定在波状態の形成は初等的量子力学で理解できるものであるが、一步踏み込んだ詳しい解析はまだほとんどなされていない。定在波状態の観測を利用して試料表面近傍の電場強度を推定しようという試みが最近報告されていることを念頭に、定常電流を考慮した密度汎関数計算で定在波状態を解析したところ、実験解析結果に現れている「バイアス電圧を高くしていくと表面近傍の電場は弱くなる」という傾向が簡単なモデルを用いた計算では再現できなかった。この傾向が持つ物理的意味を明らかにするのは今後の興味深い課題と思われる。

以上のように、走査プローブ顕微鏡の測定データやその周辺の物理現象の理論解析は必ずしも単純ではなく、しばしば解析自体が理論計算にとって挑戦的課題であると共に、解析を通じて様々な原子レベル物理現象に対するより深い理解が得られると期待される。

Pseudogap and Phase Diagram in the High- T_c Cuprate Superconductors

Akito Kobayashi, Atsushi Tsuruta, Tamifusa Matsuura
and Yoshihiro Kuroda

Department of Physics, Nagoya University

In the high- T_c cuprate superconductors, the superconducting (SC) states with $d_{x^2-y^2}$ symmetry appear as holes or electrons are doped into the antiferromagnetic (AF) insulator. Various anomalous properties such as the pseudogap phenomena have been observed at higher temperatures than T_c .

First we obtain the ingap state (the quasi-particle band) with superexchange interaction J_s by including the effects of strong on-site repulsion at Cu-sites. The ingap state and J_s induce strong AF fluctuations and SC fluctuations with the help of the two-dimensional characteristic of the system. We treat effects of the AF fluctuations in the FLEX approximation and those of the SC fluctuations in the self-consistent t-matrix approximation.

Obtained phase diagrams both in the electron- and hole-doped systems have common features including the AF state, the SC state with $d_{x^2-y^2}$ -symmetry and the pseudogap phenomena. These are consistent with results observed in experiments. Doping-dependences of T_N , T_c and T_{sg} (spin gap temperature) in the electron-doped systems are, however, different with those in the hole-doped systems. These differences are due to the intrinsic nature of the ingap states which are intimately related with the Zhang-Rice singlets in the hole-doped systems and are correlated d-electrons in the electron-doped systems, respectively.

A. Kobayashi *et al.*: cond-mat/0202116 (submitted to J. Phys. Soc. Jpn.)

A. Kobayashi *et al.*: J. Phys. Soc. Jpn. 70 (2001) 1214

<http://slabat2.phys.nagoya-u.ac.jp/~akito/>

第一原理分子動力学法による固体表面の構造、電子状態と反応過程の研究

産業技術総合研究所 森川 良忠

密度汎関数に基づく第一原理分子動力学法の発展によって、千原子程度の物質については、電子状態のみならず、構造やダイナミクスに関するシミュレーションも行われるようになってきた。それに伴い、固体表面上の反応、不均一触媒反応や溶液、生体中の反応のようになり複雑な物質をリアリスティックなモデルを用いて精度の良いシミュレーションすることが可能となってきた。本講演では第一原理分子動力学法の簡単なレビュー、最近の発展、および、今後の課題について議論したのち、固体表面構造、電子状態、および反応過程に関して最近行った興味深い研究を紹介した。具体的には、金-チオール系自己組織化膜の吸着状態に関して、電子状態や振動動スペクトルに関して実験結果と非常によく対応させることができ、実験的にはわかりにくかった吸着構造についても信頼性の高い結果を与えることができた最近の研究についてお話した。また、最近行っている銅表面上での触媒反応過程の研究についても簡単に紹介した。

高温超伝導関連物質における電子状態と輸送現象の理論的研究

埼玉大理 紺谷 浩

強相関電子系における磁場中（熱的）輸送係数は、系の電子状態を敏感に反映する大変重要な研究対象である。最近Ong達は高温超電導体のNernst係数 ν （磁場中横熱起電力）が擬ギャップ領域で急激に増大する事実を発見し、擬ギャップ現象の本質を反映する挙動として注目された（Nature 406 ('00) 486.）。彼らは擬ギャップ温度 T^* 以下でゼロ磁場でもボルテックス的励起が発生している証拠であると考えた。しかし、 ν 以外のボルテックス的励起に敏感な輸送係数（電気抵抗等）はあまり変化しないため、根拠に乏しい。

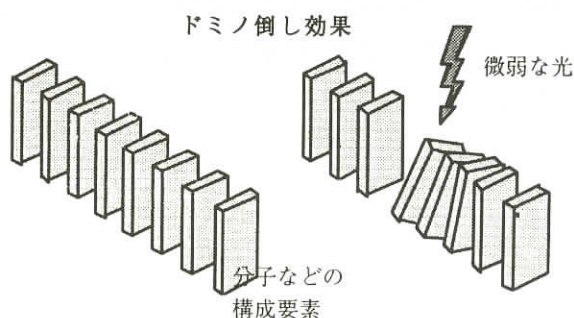
今回我々は、擬ギャップ領域におけるNernst係数の増大が、「準粒子起源」であると考え、バーテックス補正を考慮した理論計算を行った。まずはじめに $O(\tau)$ の範囲で厳密な ν の理論表式を久保公式に基づき導出した。バーテックス補正を考慮した場合、電流 \vec{J}_k と熱流 \vec{J}_k^Q は一般に平行ではないが、我々の得た ν の表式によればこのとき、「緩和時間近似」の表式では見落とされてきた種類の寄与が存在し、その項の存在がOng達の観測したNernst係数の急激な増大を与えることがわかった。conserving approximationによる解析の結果、カレントに対するバーテックス補正として「超伝導揺らぎ」と「磁性揺らぎ」が協力的に働く時に \vec{J}_k に特徴的な振る舞いが起き、その結果Nernst係数のみが著しく増大することがわかった。

今回の研究により、Ong達の観測したNernst係数の急激な増大は、擬ギャップ領域において超伝導揺らぎが急激に増大するという描像に基づき、準粒子起源の輸送現象として自然に理解できることが明らかになった。また、ホール係数や磁気抵抗、熱起電力など様々な輸送係数との統一的理解ができることを強調したい。ゆえに、擬ギャップ領域においてゼロ磁場でボルテックスのペア励起が存在するという仮説は妥当ではない。

光誘起相転移

東工大物質科学・神奈川科学技術アカデミー 腰原 伸也

光によって物質を変化させることは、今日の科学の一大課題である。半導体を用いた光エレクトロニクス素子、光化学反応等はその典型例といえよう。我々は、一つの光子できわめて多数の電子や分子が変化する、いわば、微弱な光励起によってドミノ倒しを起こしてしまうような物質の発見と現象の特徴の追求を行っている（図面参照）。本講演では、遷移金属錯体における光誘起スピン状態転移（共同のスピンクロスオーバー転移）、電荷移動錯体における共同的電荷移動現象、さらには量子常誘電体における巨大光誘起効果を中心に、最近の研究の紹介を行った。光誘起スピン状態転移は、巨視的なサイズの結晶が高スピン状態と低スピン状態を光励起をきっかけにして入れ代わると



いう、いわば共同的な項間交差反応とも呼べる現象であり、光化学にとっても極めて関連が深い新規な現象である。さらに、この物質の光誘起スピン状態転移の過程においては、励起光強度に対する反応量の非線形なふるまいや大きな磁場効果等も観測されており、それら最新の実験結果についても解説を行った。

有機導体の次元性、電子相関、非線形励起とダイナミクス

分子研、総研大 米満 賢治

(a) 次元性と電子相関

擬1次元有機導体では、転移温度以上で電子運動の次元が1から3まで連続的に変化することが知られている。光学伝導度のスペクトルにおいても次元クロスオーバーが観測されていて、理論的には摂動論的繰り込み群で説明することができなくなった。そこで、有限温度密度行列繰り込み群で得られる虚数時間依存局所相関関数を実エネルギーに解析接続することにより、2本足梯子上のスピンレスフェルミオン系の電荷移動励起スペクトルを求めた。ハーフフィリングでは整合性効果でウムクラップ散乱が起こり、斥力が強ければ電荷整列によるギャップが生じる。低エネルギーでフェルミオンの移動はソリトンの併進運動として現れ、鎖に沿って集団的に生じる。しかし、鎖に垂直なフェルミオンの移動は個別的にしか起こらない。鎖内相関が強くなると、フェルミオンの運動は鎖内に制限されるために鎖間スペクトルが大きく変化する。鎖間軌道重なりが強くなると電荷整列相関が弱くなって鎖に沿った運動が促進され、鎖内スペクトルが大きく変化する。ドーピングはウムクラップ散乱を弱めて鎖間のフェルミオン移動を容易にするので、軌道重なり効果と類似することがわかった。

(b) 非線形励起とダイナミクス

光誘起相転移を示す代表的な遍歴電子系として、TTF-CAなどの交互積層型電荷移動錯体がある。近年、平衡熱力学的な相転移では現れない特徴として、光励起強度の閾値挙動や光励起後ある時間たってから変化がおきる孵化時間挙動などが注目を集めている。光誘起相転移におけるドミノ倒し効果など動力学的な研究はこれまで局在電子系に限られており、多電子系の協力効果が不明であった。一方、遍歴電子系におけるこれまでの光誘起相転移理論は断熱ポテンシャルに基づいており、近年明らかになった電荷格子複合ダイナミクスを記述することができなかった。そこで、伝導性や磁性など平衡状態の多電子系を記述するのと同じ遍歴電子モデルを使って、光励起直後のダイナミクスを直接的に時間依存量子発展方程式を解いて調べた。光励起直後は準安定領域の複雑な競合が起きていて、閾値以下で安定相に戻ることや閾値以上でも複雑な初期ダイナミクスのあることがわかり、単純なドミノ倒し描像とは違う結果が得られた。さらに中性イオン性相境界の巨視的かつ集団的な運動が再現された。

密度汎関数理論に基づいた強相関電子系の有効理論とその可能性

新潟大院自然科学 草部 浩一

密度汎関数理論は、LevyやLiebによる厳密な定式化を基にしてKohn-Sham理論により有効一体理論を導出するという手続きを行うことで、多電子系に対するいわゆる第一原理的計算理論の基礎を提供している。Kohn-Shamによる交換・相関エネルギー汎関数を局所密度近似や一般化密度勾配補正近似により決定する方法論が、物性の理論予測にいたる多くの成功を収めてきたことはよく知られている。最近、一電子密度を有効多体系が与える密度で再現するというKohn-Sham理論の拡張が、1)自然に短距離相互作用する有効多電子系のハミルトニアンを導くこと、そして2)そこで現れる残差交換・相関エネルギーを局所密度近似等により与えるとハバード模型等の有効模型が得られることが草部により示された[1]。この理論を磁性物質等の強相関電子系に適用する際には、DFT-LDA計算において行われた電子気体の精密計算に基づいた交換・相関エネルギーの評価という手続きを、磁性不純物を含む電子気体に対して行うことで残差交換・相関エネルギーを評価する必要があると考えられる。

[1] K. Kusakabe, J. Phys. Soc. Jpn. **70**, 2038 (2001).

超伝導磁束渦糸状態の微視的理論計算

岡山大理 市岡 優典

超伝導磁束渦糸状態においては、渦糸芯領域において超伝導オーダーパラメーターが抑制されているため、渦糸のまわりでは低エネルギーの準粒子励起が存在し、その電子状態が物性に大きく寄与している。この低エネルギー励起の空間構造は、電子状態のフェルミ面の形状や超伝導ギャップの異方性を大きく反映したものとなるのでその理論的理解が重要である。実験的にも渦糸のまわりの電子状態はSTMなどにより観測が試みられている。また、渦糸まわりの電子状態は状態密度の磁場依存性に反映するが、これは磁場中比熱の測定などにより調べられている。

まず最初に、渦糸のまわりの電子状態の理論計算の方法として、Bogoliubov-de Gennes理論による方法と準古典理論による方法を説明し、その計算結果をs波超伝導の場合とd波超伝導の場合の渦糸状態の違いを例に報告した。d波超伝導の場合は超伝導ギャップのラインノードの効果で、低エネルギー励起が渦糸の外側まで伸びており、そのため、状態密度は \sqrt{H} の磁場依存性を示す。

ついで、 Sr_2RuO_4 を念頭におき、 $p_{\pm}(=p_x \pm ip_y)$ のカイラルp波超伝導での渦糸構造について、準古典理論により磁場をc軸方向にかけた場合について計算した結果を報告した。カイラルp波超伝導の特徴は、 p_+ 波(p_- 波)超伝導での渦糸のまわりに、もう一方の p_- 波(p_+ 波)の成分が混ざってくることである。この混ざる成分の大きさおよび空間構造の違いにより、 p_+ 波 p_- と波での渦糸状態の違いが現れ、エネルギー的には p_- 波の方が安定な状態となることがわかる。この磁場依存性を調べたところ、安定な p_- 波の場合では混ざってくる反対のカイラル成分の大きさが高磁場側で大きくなり、この効果で、高磁場側で状態密度の \sqrt{H} 依存性も得られる。一方、低磁場側では \sqrt{H} 依存性からのずれが見られる。この振舞いは Sr_2RuO_4 での磁場中比熱の実験結果と一致している。

また、銅酸化物高温超伝導体の渦糸状態では、渦糸のまわりで反強磁性状態またはストライプ状態が誘起される可能性のあることも議論した。

Electronic phases related to superconductivity in two-dimensional organics

K. Kanoda

Department of Applied Physics, University of Tokyo

A family of two-dimensional organic systems, κ -(BEDT-TTF)₂X, with half-filled bands span the phase diagram of the Mott transition between the superconducting and antiferromagnetic phases as a function of U/W . I presented two peculiar behaviors of the superconducting phase near the antiferromagnetic insulator. The first is the pseudogap behavior, by which I mean that the NMR $1/(T_1T)$ shows anomalous depression with temperature decreased in the metallic state well above T_C . The behavior quite resembles the underdoped cuprate's. Its field-dependence including the angular dependence imply involvement of the orbital motion in this phenomenon. The second is the field-induced superconductor-to-insulator transition. The hysteresis of the resistivity against field and temperature and large NMR shift evidence that the transition is of the first order and antiferromagnetic.

Finally, I reported the observation of the quantum critical spin fluctuations (QCSF) in κ -(BEDT-TTF)₄Hg_{3- δ} Cl₈, a possible doped Mott insulator, by the ¹³C-NMR spectrum and relaxation-rate measurements down to 30 mK. This is the first observation of QCSF in organics and has a surprising contrast to the widely studied case of κ -(BEDT-TTF)₂X with fixed band-filling.

Novel Optical Responses in Mott Insulators

東北大金属材料研究所 遠山 貴己

モット絶縁体の電荷ギャップは、電子間に働く強いクーロン相互作用に起因している。そのため、バンド絶縁体とは異なる非線形光学応答が期待される。実際、Cu酸化物やNi-錯体などの1次元モット絶縁体において大きな3次の非線形光学感受率が報告されており、モット絶縁体における非線形光学応答の解明が求められている。我々はモット絶縁体を記述する half-filling の Hubbard 模型を用い、有限サイズのクラスターに対するハミルトニアンを数値的に対角化することによって非線形光学応答スペクトルを調べている。一次元系ではスピン・電荷分離により生じた holon (非占有サイトの電荷の自由度) と doublon (二重占有サイトの電荷の自由度) を考慮することにより非線形光学応答の特徴が説明される。一方、2次元系では、1次元系とは異なり、光によって生成されたホールと電子の運動は、それらの周りに存在するスピンによって大きく乱される。そのため、スピン自由度を考慮しなければならず1次元とは本質的に異なった非線形光学応答となる。数値計算の結果は2次元銅酸化物絶縁体に対する2光子吸収や第3高調波発生実験の特徴を再現しており、光励起状態におけるスピン自由度の重要性を示している。

原子気体のボース・アインシュタイン凝縮：レビューと今後の展望

東工大院理工 上田 正仁

2001年度のノーベル物理学賞はアルカリ原子気体のボース・アインシュタイン凝縮 (BEC) を実現した3氏に与えられたが、受賞理由に "for early fundamental studies of the properties of the condensates" とあるとおり、この受賞の決定は原子気体BECの分野の爆発的な発展とそのインパクトの大きさを多くの分野の研究者が実感していることを物語っている。

液体ヘリウムや超伝導がBECであることは周知のことである。これに対して、原子気体BECの新規性は、物質波レーザー (BEC) が光のレーザーと融合したことにある。これにより、巨視的量子現象を文字通り「目でみる」ことが可能になり、これが我々の想像力を刺激して新しいアイデアを生み出している。しかも、原子気体BECは、原子間相互作用の強さとその符号を含む、系を記述するパラメータのほとんどすべてを非常に高い精度で変調できるという他に例を見ない特長を持っている。これにより、我々の思考は物質に固有のパラメータという制約から解放され、これまで想像もできなかった研究…例えば、相互作用のスイッチによるBECの崩壊の実験…が可能になっている。

原子気体BEC研究の特長はその際立った学際性にある。具体例をあげると、内部自由度を持ったBEC、量子渦、フェルミ縮退 (低温物理学)、ソリトンと非線型原子波光学 (量子エレクトロニクス)、BEC相転移のダイナミクスと非対角長距離秩序の観測 (統計物理学)、モット…絶縁体転移 (固体物理学)、BECの崩壊 (宇宙物理学)、光情報の凍結・保存 (量子情報) とそれを使ったホーキング放射、イラストスペクトル (原子核物理)、マイクロチップ上でのBECの生成 (半導体エレクトロニクス)、BEC分子の生成 (化学)。講演では、これらから以下のいくつかのトピックスを紹介し、今後の展望について述べる。

GW近似に基づいた電子構造計算

東工大院理 三宅 隆

密度汎関数法は、固体や原子の電子状態を定量的に記述する標準的な手法として定着しており、半導体をはじめ多くの物質の電子構造や構造安定性の議論に役立っている。その反面、多くの適用例を通して、バンドギャップやファン・デア・ワールス力の記述などで方法の限界が指摘されてきた。これを克服する一つの方法として、密度汎関数法で得られた一体の波動関数と一電子エネルギーを用いて多体摂動論に基づいて自己エネルギーを見積もる試みがなされている。特に、乱雑位相近似 (RPA) で遮蔽効果を取り込んだGW近似は、半導体のギャップ問題を改善することが知られている。講演では、GW近似による電子励起状態の過去の計算を概観した後、RPAに基づいた新しい全エネルギー計算法を紹介した。また、相互作用の強い系を扱う試みの一つとして、T行列近似を用いた一電子スペクトル計算の現状と課題を議論した。

密度行列繰り込み群の方法と最近の発展

東大院総合文化 柴田 尚和

分数量子ホール効果の舞台となっている磁場中二次元電子系の基底状態は、電子間相互作用の存在しない極限でマクロな縮退が存在し、相互作用によってのみ基底状態が決定されるという、典型的な強相関電子系としての興味深い振る舞いを示す。このような系の性質を理解するためには電子間相互作用の効果を正確に取り扱う必要があり、量子多体問題を真面目に解かなければならない。そのため
の計算法として最近発展の見られたものが密度行列繰り込み群の方法である。この方法は精度をコントロールしながら大きな系の基底状態を求める精密な変分法であり、厳密対角化の方法で問題になる系の大きさに対する制限がなく、また、量子モンテカルロ法と比較して統計誤差や負符号問題がないという特徴をもっている。

今回の発表では量子一次元系に対する標準的計算法として知られている密度行列繰り込み群の方法を磁場中の二次元電子系に適用するための適切な拡張法を説明し、この方法を用いて磁場中二次元電子系における量子多体問題を正確に解いた結果得られる基底状態の相図から、実験的に得られている分数量子ホール効果や異方的電気抵抗、リエントラント整数量子ホール効果などの様々な現象が説明できることを示した。

計算統計力学の展望

東大院工 伊藤 伸泰

計算機シミュレーションによる統計力学研究の現状と中期的展望とを、講演者自身の研究に即して紹介する。特に、熱平衡状態の性質を調べる方法である非平衡緩和法と、流れの統計力学的なシミュレーションとを扱う。

物性研究所ISSPワークショップ

「強磁場物性の現状と将来展望」

日時 平成14年5月29日(水) 午前9時～午後5時10分

場所 物性研究所A棟6階第一会議室

世話人 三浦 登
後藤 恒昭
長田 俊人

上記のタイトルの研究会が、14年5月29日に物性研究所の「ISSPワークショップ」として開催された。この研究会は、強磁場物性分野の研究者が強磁場物性の現状と将来についてのレビューを行い、日本に長時間パルス強磁場施設を建設することの是非を議論すること、またこの秋に予定されている「強磁場フォーラム」の設立に向けて、規約、今後の日程、課題等の議論を行うという2つの目的をもって開かれた。

強磁場を用いた研究は、強磁場発生技術の進歩とともに最近国内外で急速に進展しつつある。米国およびヨーロッパでは、国家的な規模の大型強磁場施設の建設が相次ぎ、現在計画中のものを含めるとその数はかなりの多数に上る。我が国では伝統的に磁性研究が盛んであることから強磁場発生技術とそれを用いた物性研究の分野では、東北大学、物性研究所、大阪大学を中心とした研究活動は世界をリードしてきたといえる。日本の国際的な先進性、優位性は、米国、ヨーロッパにおける新施設建設のための調査報告書において、常に日本のこの分野における研究実績が目標とすべき手本としてあげられてきたことから明らかである。欧米における新しい強磁場施設における研究活動が本格的な成果を生みだしつつある現在では、この情勢が大きく変わりつつある。特に、強相関電子系、有機伝導体、半導体の量子構造やナノ構造などの分野において、欧米の諸新施設から多くの新しい注目すべき研究成果が生み出され発表されている。強磁場科学の分野ではいくつかのシリーズの国際会議が数年ごとに開かれているが、最近では毎年いずれかの強磁場関連国際会議が必ず一つ以上開かれ、そこではこれらの欧米各国からの発表が脚光を浴びている。また強磁場施設間の協力を促進するための国際フォーラムの結成も検討されている。また国際純正および応用物理学連合(IUPAP)では、中性子散乱設備など物理学研究のための大型研究施設を将来どのようにするかを検討するための活動が開始され、その中に強磁場施設も考えられているとのことである。

このような情勢にあって、我が国における研究グループの連携、協力関係を一層緊密にして、この分野における研究体制を強化し、再び世界を先導するような優れた成果を生み出すことが急務であると考えられる。平成11年9月20日～22日の物性研究所研究会シリーズの研究会では、研究グループの協力体制の強化の必要性が指摘された。そこで強磁場研究者が集まって平成13年3月2日、11月5、6日の2回の研究会において議論を重ねた結果、我が国の強磁場研究推進のために「強磁場フォーラム」を設立することになった。このフォーラムでは強磁場研究における協力体制および共同利用体制の強化、研究成果や強磁場技術などについての討論と情報交換、若手研究者間の共同研究援助などを

目指している。このためにすでに定期的な研究会開催と、ホームページの整備を行っている。この秋に設立総会を開いて正式に組織を立ち上げた後、本格的な活動を開始することになっている。

フォーラム結成の議論の過程で、我が国においても本格的な共同利用施設としての長時間パルス強磁場施設の建設が急務であることが明らかとなってきた。施設としては、最高60-80T、持続時間数10ms-1sのパルス磁場マグネットを各実験種別用に数台備え、施設の研究者、技術開発と共同利用支援のための人員数人を配置した施設を考えている。この領域は、物性研究所で培ってきたメガガウス領域の超強磁場最前線と現在の定常強磁場との中間の磁場領域にあるが、最近の非破壊的磁場発生技術や測定技術の著しい向上と相まって、かつてない圧倒的なデータの精度や超低温・超高圧との組み合わせ等の可能性を開き、物性の宝庫を開拓するものと考えられる。米国、ヨーロッパではこのような施設建設計画が急ピッチで展開され、あるいはすでに稼働を始めている。この施設は全国ないし世界の研究者のためのユーザー・ファシリティである、耐えざる技術開発を行う技術者グループ、利用者の実験を支援するサポートグループが充実していることが必須の条件である。世界的にも希有の特徴ある装置である物性研究所のメガガウス超強磁場施設やパルスではできない実験のために必要な東北大学金属材料研究所、物質材料研究機構の定常磁場施設などとは別に建設され、これらが有機的に協力しつつ強磁場物性の発展に寄与していくことが望まれる。

このような施設の建設を前進させるためには、まず長時間パルス磁場中で初めて可能になる新しいサイエンスの可能性を探ることが必要である。そこで強磁場フォーラムの準備会では、現在我が国で強磁場物性の分野の最前線で活躍しておられる研究者の方々に、各分野の現状と将来展望についての原稿執筆をお願いし、これらを集めた「強磁場物性の現状と将来展望」と題する小冊子（通称「強磁場白書」）を作成した。この白書はそれぞれの分野で示唆に富む将来展望を含んでおり、今後、新パルス強磁場施設建設を考える上での強力なガイドラインとして役立つことが期待される。

本研究会ではまずこの「強磁場白書」に執筆して下さった方々に、その原稿を中心に各分野を展望する総合講演をお願いし、これを基に討論を行った。ここでは誌面の都合上、各項目についての報告は差し控えるが、ご関心のある方は物性研究所内強磁場フォーラム事務局（物性研究所三浦研究室内）宛、上記の強磁場白書のコピーを請求されたい。研究会の最後に全体を通しての討論を行ったが、強磁場施設のサイエンスへの有意義な寄与については、大方の合意が得られた。今後さらに施設の詳細な仕様を検討することになった。強磁場フォーラムについては、趣意書、規約等についての討論が行われ、10月の物性研究所短期研究会として強磁場物性についての短期研究会を行い、これに付随して設立総会を開くことが決定された。以下に研究会のプログラムと「強磁場フォーラム趣意書」を添付する。

プログラム

		座長 嶽山正二郎
9 : 00～9 : 10	はじめに	三浦 登
9 : 10～9 : 30	非破壊的マグネットの技術的可能性	金道 浩一、F. Herlach
9 : 30～9 : 50	メソスコピック系の超強磁場下電子状態	勝本 信吾
9 : 50～10 : 10	強磁場中のプロッホ電子	長田 俊人
10 : 10～10 : 30	有機伝導体と有機磁性体	宇治 進也、太田 仁
10 : 30～10 : 50	[休 憩]	
		座長 後藤 恒昭
10 : 50～11 : 10	重い電子系	大貫 惇睦
11 : 10～11 : 30	高温超伝導	安藤 陽一
11 : 30～11 : 50	量子スピン系	田中 秀数
11 : 50～12 : 10	低次元量子スピン系の強磁場磁性	網代 芳民
12 : 10～12 : 30	磁気光学	嶽山正二郎、横井 裕之
12 : 30～13 : 50	[昼休み]	
		座長 長田 俊人
13 : 50～14 : 20	量子ホール効果	高増 正、青木 秀夫
14 : 20～14 : 40	磁気共鳴	野尻 浩之
14 : 40～15 : 00	半導体のマグネットスペクトロスコピー	河野淳一郎
15 : 00～15 : 20	表面研究・化学反応	小森 文夫
15 : 20～15 : 40	[休 憩]	
		座長 三浦 登
15 : 40～17 : 10	討論会「強磁場フォーラムとパルス磁場施設」	

「強磁場フォーラム」設立趣意書

近年の世界の強磁場科学の進展は目覚ましく、かつては夢のような値であった強磁場が実際の実験に供されるようになり、その下で多くの重要な研究が進展している。我が国における強磁場科学の歴史は古く、強磁場を用いた物性研究は東北大学金属材料研究所、物質材料研究機構、物性研究所、大阪大学の4大強磁場施設を中心として、多くの研究者の協力の下に進展し、その成果は強磁場科学の黎明期から今日まで多年にわたり世界をリードしてきたといつてよい。これらの大型施設はそれぞれに魅力ある特色を持ち、各々が相補的にバランスを取りながら発展してきた。東北大学と物質材料研究機構の定常強磁場施設はともに世界第一級の水冷型とハイブリッドマグネットを備え多くの共同利用に供されている。パルス強磁場では物性研究所の電磁濃縮法と一卷きコイル法、大阪大学の非破壊多層マグネットはともに世界最高水準にあり、物性研究所では室内世界最高磁場となる622テスラを、大阪大学では実用型非破壊パルスマグネットの世界記録80.8テスラを発生している。さらに我が国では、強磁場を必要とする物性科学の多くの分野において伝統的に研究者層がきわめて厚く、強相関電子系、超伝導、半導体、量子スピン系、低次元伝導体、材料科学、化学および生物などの各分野において多くの優れた研究が進展していることは周知の事実である。強磁場は物質の電子状態の極端な量子化を実現することからあらゆる分野で新しい物理学の端緒を切り開き、また物理学上の未解決な諸問題の解明に有力な研究手段となる。昨今の強磁場技術の進展によってさらに高品位の強磁場への道が切り開かれるにつれ強磁場科学は今後さらにその重要性を増すと考えられる。

近年欧米諸国では、強磁場科学への関心が急速に高まり、各種の大型強磁場施設を建設する国家的なプロジェクトが相次いで立案され、実行に移されている。これらの新しい強磁場施設からは次々と新しい現象が見出され、これらは最近では毎年必ずいずれかの地で開催されている強磁場関連の国際会議で発表され、多大の関心を集めている。

このような状況に鑑み、今後日本の強磁場科学の一層の発展を図るためには、ユーザーを含めたすべての強磁場関係研究者の密接な協力が不可欠となっていることは明らかである。平成11年9月に物性研究所で行われた強磁場研究会においても、国内の研究体制をより強固なものとするために何らかの研究者の組織化が必要であることが指摘された。これを機に強磁場研究者有志は新しい協力体制構築のための議論を重ねてきたが、この度、学術情報の交換、共通の学術的・技術的問題の解決、若手研究者の育成、国内外の関係諸団体との研究連絡、関連研究者の要望発信、強磁場科学の将来構想の構築、一般市民、学生への啓蒙活動を目的とした研究組織をつくるべきであるとの結論に達した。その議論を踏まえ、ここに上記の諸活動を目的とした「強磁場フォーラム (The High Magnetic Field Forum of Japan)」を設立する。

2002年7月

強磁場フォーラム準備会

物性研究所ISSPワークショップ

$\text{Cd}_2\text{Re}_2\text{O}_7$ に関するミーティング

日時：平成14年1月30日(水)

場所：東京大学柏キャンパス物性研究所大講義室（6階A632室）

世話人 廣井 善二（東大物性研）

昨年春に物性研において発見された初めてのパイロクロア酸化物超伝導体 $\text{Cd}_2\text{Re}_2\text{O}_7$ は、その後も精力的な研究が行われている。本ワークショップでは $\text{Cd}_2\text{Re}_2\text{O}_7$ の超伝導性とそれに絡む物性に対する理解を深めるために、物性研内外の関係する研究者が一堂に会し最新の研究成果を発表した。特に2つの構造転移に伴う物性の変化と構造変化の関連について突っ込んだ議論が行われ、パイロクロア格子上での遍歴電子系が示す特異性の一端が明らかになった。

物性研外からの主な参加者を以下に示す。

門野 良典	高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所
澤 博	高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所
水貝 俊治	名古屋大学理学部物理
津田 健治	東北大学多元物質科学研究所表面機能解析
播磨 尚朝	大阪大学産業科学研究所

物性研究所ISSPワークショップ

高輝度光源における光学素子評価と分光器の提案

日時：2002年3月19日(火) 14:30~16:30

場所：東京大学物性研究所筑波分室

提案代表者	軌道放射物性研究施設	木下 豊彦
	原研関西研	小池 雅人
参加者	KEK-PF	柳下 明
	東北大多元研	柳原 美広、羽多野 忠
	原研関西研	依田 修、小池 雅人
	NTT-AT	竹中 久貴、大知 渉之
	東大物性研	柿崎 明人、木下 豊彦
		奥田 太一、藤沢 正美
		原沢あゆみ

1. 開催趣旨

極紫外、軟X線領域の高輝度光源計画は現在、東大のみならず、KEK、東北大、分子研、Spring-8のメンバーからなるワーキンググループにより、オールジャパンの計画として、光源仕様の設計が進められている。一方、高輝度光源の性能を生かし、実際の実験に使う良質な光を得るためにはビームラインの検討もかかせない。高輝度光源に適応した光学素子、分光器のオプティクスなどについても最先端のものを取り入れていく必要がある。今回、少人数ではあるが、多層膜等、軟X線オプティクスの研究関係者が集まり、情報交換を行うとともに、光学素子評価のためのビームライン建設の必要性、可能性について議論を行った。以下にその内容の概略を示す。

2. 討論内容

2.1 統合計画リング設計の概要紹介が柿崎、木下、藤沢よりなされた。放射線遮蔽壁や、ビームライン取り出し口の設計について議論が交わされた。

2.2 光学素子評価ビームライン建設の必要性について

2.2.1 現状分析、及び問題点

- 高輝度光源に適応した優れた光学素子、分光器のオプティクス開発には、例えば素子の反射率、表面精度、面粗さ等の正確な情報の素子生成開発へのフィードバックが必要であり、その情報源となる素子の測定評価にも最先端の光源を使用することが望ましい。
- 東北大多元研でレーザープラズマを光源とする軟X線干渉計が開発されているが、この種の装置には高精度の基準鏡が必要となるなど、高精度な軟X線光学素子の必要性が高まっている。
- 軟X線縮小投影露光(EUVL)(波長：~13nm)による半導体製造法開発が欧米で工場生産の一步手前まで進んでおり、日本も盛んに追い上げている。さらに、放射光、レーザープラズマ等の光源を用いた軟X線顕微鏡、局所軟X線分光分析(マイクロプローブ)等の技術開発も急速に進

展している。現状では光学素子の多くを輸入品に頼っているが、キーテクノロジーである光学素子の国産化が最重要との認識も高まりつつある。したがって、早晚、鏡、マスク、レジスト等の単体特性評価、Schwarzschild 鏡の光学システムなど大型試料の測定評価需要が急増することが見込まれる。

- PFの反射率計(BL-12A)は他の実験も行える多目的ビームラインに併設されている。また、製作から20年近く経過しており、更新時期にある。
- 日本における光学素子開発は多くを民間企業に頼っているが、評価しようとしても、費用、サポートの点でALS等の諸外国のビームラインに対して劣るため、外国で測定が行われる傾向にある。
- 国内における地域性については、PF, SPring-8(含むNew Subaru)、立命館大、分子研などに光学素子評価BL(共用を含む)があるが、西日本に偏在している。

2.2.2 今後緊急に拡充が必要とされる光学素子評価の概要

(1) 多層膜等の反射率測定：反射率の波長依存性、角度依存性、鏡表面の散乱特性の評価。

光学常数の測定等には偏光が必要であり、測定槽の回転機構か、偏光子が必要。回折格子の高次光カットも必要。光学常数測定に必要な試料の大きさは10cm角程度まで。

(2) 光学システムとしての集光・結像評価：Schwarzschild 鏡システムの透過特性（特に波長依存性）評価。

(3) 多層膜の耐熱性評価：ビームライン上流部に照射チェンバーを設け、白色光を用いて照射(IDビームラインに付設)。

(4) 多層膜の欠陥評価：多層積層原子の表面及び内部秩序の評価。

- 特に(1)、(2)が重要。(1)、(2)の実験が可能な2箇所程度の実験ステーションを備えた専用BMビームラインの建設を推進すべきである。波長域は当面軟X線に限ってはどうか。建設母体、資金、運営方法が問題。民間企業も利用しやすい運営形態が必要であるとの意見が出された。

3. 今後のスケジュール等

今回集まった参加者を軸に他研究機関の研究者も巻き込み研究グループを形成することが確認された。

物性研究所談話会

日時: 2002年6月10日(月) 午後4時~5時

場所: 物性研究所6階 A615号室

講師: Dr. Akhilesh K. ARORA

所属: Indira Gandhi Centre for Atomic Research, Kalpakkam, India

題目: Negative thermal expansion of zirconium tungstate: Insight from high-pressure Raman spectroscopy

要旨:

Materials exhibiting negative thermal expansion are technologically important as these are used for synthesizing composites with zero thermal expansion coefficient or those with other desired values. However, many such materials often have anisotropic expansion coefficients, which are also strongly temperature dependent. In this context zirconium tungstate is particularly interesting in view of its large anisotropic negative thermal expansion over a wide range of temperatures. Thermal expansion of a material is determined by the Gruneisen parameter of phonons. High-pressure Raman spectroscopy was used for obtaining the Gruneisen parameter of all the optical phonons. In contrast to earlier models and belief, phonons of energy much higher than 10 meV were found to contribute significantly to the negative thermal expansion in this material. The present data suggests that in addition to the low frequency rigid-unit modes the bending distortions of the tungstate tetrahedra are also important. In addition to these results the talk will also discuss the pressure-induced cubic to orthorhombic structural phase transition and subsequent amorphization in this material.

日時: 2002年7月11日(木) 午後2時~3時30分

場所: 物性研究所6階 A615号室

講師: 大野 隆央

所属: 独立行政法人 物質・材料研究機構

計算材料科学研究センター 第一原理物性グループリーダー

題目: 吸着・拡散過程のダイナミクス

要旨:

原子・分子の吸着・拡散は表面における最も基本的な動的過程であり、結晶成長、触媒など様々な表面現象の理解に不可欠なものです。様々な表面に関して数多くの研究がなされ、通常、表面に飛来した原子は安定位置に吸着し隣接する安定位置間を飛び移り表面を拡散する、という描像で考えられています。しかし、このような単純化した描像では記述できない吸着・拡散過程のダイナミクスの面白さ、奥深さがまだまだあります。講演では、(1) 吸着原子のエネルギー散逸が吸着・拡散過程に及ぼす効果 (2) 準安定構造がもたらす吸着構造の過渡的変化と長距離ジャンプに拡散の可能性 (3) 必要とされる理論的解析手法 (4) 今後の展望に関して、特に焦点を絞ってお話します。

人事異動

【研究部門等】

○ 平成14年5月1日付け

(採用)

氏名	所属	職名	異動内容
大西 剛	先端領域研究部門	助手	新規採用

○ 平成14年6月1日付け

(昇任)

氏名	所属	職名	異動内容
藤堂 真治	附属物質設計評価施設	助手	昇任(大学院工学系研究科物理工学専攻工業力学講座講師へ)

東京大学物性研究所の教官公募の通知

下記により助手の公募をいたします。適任者の推薦、希望者の応募をよろしくお願いいたします。

1. 研究部門名等及び公募人員数

物性理論研究部門多電子問題領域（高田研究室） 助手 1名

2. 研究内容

物性理論。次の2つのテーマのうち、どちらか一つに意欲的に取り組む積極的な人材を希望する。(1) 多電子系の動的応答・光物性のグリーン関数理論、特にGW法を越える手法の発展とその現実の金属への応用、(2) 電子フォノン系の物理、特に超伝導の微視的機構解明に関連する研究。

3. 応募資格

修士課程修了、又はこれと同等以上の能力を持つ人。

4. 任 期

任期は5年とする。ただし、再任は可とし、1回を限度とする。

5. 公募締切

平成14年8月30日(金) 必着

6. 就任時期

決定後なるべく早い時期を希望する。

7. 提出書類

(イ) 推薦の場合:

- 推薦書（健康に関する所見を含む）
- 履歴書（略歴が良い）
- 業績論文リスト（必ずタイプし、特に重要な論文に○印をつけること）
- 主要論文の別刷（5編程度）

(ロ) 応募の場合

- 履歴書（略歴が良い）
- 業績論文リスト（必ずタイプし、特に重要な論文に○印をつけること）
- 主要論文の別刷（5編程度）
- 所属の長又は指導教官等の本人についての意見書（宛先へ直送）
- 健康診断書

8. ①書類提出先

〒277-8581 千葉県柏市柏の葉5丁目1番5号
東京大学柏地区庶務課人事掛
電話 04 (7136) 3205, e-mail jinji-kakari@issp.u-tokyo.ac.jp

②問い合わせ先

東京大学物性研究所 物性理論研究部門 助教授 高田 康民
電話 04 (7136) 3280 e-mail takada@issp.u-tokyo.ac.jp

9. 注意事項

「物性理論研究部門（高田研究室）助手応募書類在中」、又は「意見書在中」の旨を朱書し、郵送の場合は書留とすること。

10. 選考方法

東京大学物性研究所教授会で審査決定いたします。ただし、適任者のない場合は、決定を保留いたします。

平成14年4月30日

東京大学物性研究所長
福 山 秀 敏

下記により助手の公募をいたします。適任者の推薦、希望者の応募をよろしくお願いいたします。

1. 研究部門名等及び公募人員数

先端分光研究部門レーザー光物性領域（末元研究室） 助手 1名

2. 研究内容

固体における電子系、格子系、スピン系の超高速ダイナミクス、光誘起相転移などの研究に意欲のある方。
レーザーまたは分光光学実験の経験者が望ましい。

3. 応募資格

修士課程修了、又はこれと同等以上の能力を持つ人。

4. 任 期

任期は5年とする。ただし、再任は可とし、1回を限度とする。

5. 公募締切

平成14年8月30日(金) 必着

6. 就任時期

決定後なるべく早い時期を希望する。

7. 提出書類

(イ) 推薦の場合:

- 推薦書（健康に関する所見を含む）
- 履歴書（略歴が良い）
- 業績論文リスト（特に重要な論文に○印をつけること）
- 主要論文の別刷（5編程度）

(ロ) 応募の場合

- 履歴書（略歴が良い）
- 業績論文リスト（特に重要な論文に○印をつけること）
- 主要論文の別刷（5編程度）
- 所属の長又は指導教官等の本人についての意見書（宛先へ直送）
- 健康診断書

8. ①書類提出先

〒277-8581 千葉県柏市柏の葉5丁目1番5号
東京大学柏地区庶務課人事掛
電話 04 (7136) 3205 e-mail jinji-kakari@issp.u-tokyo.ac.jp

②問い合わせ先

東京大学物性研究所 先端分光研究部門
教授 末元 徹
電話 04 (7136) 3375 e-mail suemoto@issp.u-tokyo.ac.jp

9. 注意事項

「先端分光研究部門（末元研究室）助手応募書類在中」、又は「意見書在中」の旨を朱書し、郵送の場合は書留とすること。

10. 選考方法

東京大学物性研究所教授会で審査決定いたします。ただし、適任者のない場合は、決定を保留いたします。

平成14年6月6日

東京大学物性研究所長
福山 秀敏

下記により助手の公募をいたします。適任者の推薦、希望者の応募をよろしくお願いいたします。

1. 研究部門名等及び公募人員数

附属物質設計評価施設計算物性物理領域 助手1名

2. 研究内容

計算物性物理学、なかでも量子強相関系またはランダム複雑系などの研究を推進するとともに、物性研究所共同利用スーパーコンピュータシステムの効率的な管理運用に協力できる意欲的な研究者を希望する。

3. 応募資格

修士課程終了、又はこれと同等以上の能力を持つ人。

4. 任 期

任期は5年とする。ただし、再任を可とし、1回を限度とする。

5. 公募締切

平成14年9月30日(月) 必着

6. 就任時期

決定後なるべく早い時期を希望する。

7. 提出書類

(イ) 推薦の場合:

- 推薦書 (健康に関する所見を含む)
- 履歴書 (略歴が良い)
- 業績論文リスト (必ずタイプし、特に重要な論文に○印をつけること)
- 主要論文の別刷 (5編程度)

(ロ) 応募の場合

- 履歴書 (略歴が良い)
- 業績論文リスト (必ずタイプし、特に重要な論文に○印をつけること)
- 主要論文の別刷 (5編程度)
- 所属の長又は指導教官等の本人についての意見書 (宛先へ直送)
- 健康診断書

8. ①書類提出先

〒277-8581 千葉県柏市柏の葉5丁目1番5号
東京大学柏地区庶務課人事掛
電話 04 (7136) 3205 e-mail: jinji-kakari@issp.u-tokyo.ac.jp

②問い合わせ先

東京大学物性研究所 附属物質設計評価施設
施設長 高山 一
電話 04 (7136) 3440 e-mail: takayama@issp.u-tokyo.ac.jp

9. 注意事項

「附属物質設計評価施設助手応募書類在中」、又は「意見書在中」の旨を朱書きし、郵送の場合は書留とすること。

10. 選考方法

東京大学物性研究所教授会で審査決定いたします。ただし、適任者のない場合は、決定を保留いたします。

平成14年7月30日

東京大学物性研究所長
福山 秀敏

本研究所において、テーマ（分野）「限定型」及びテーマ（分野）自体を提案いただく「提案型」の客員教授（助教授）を下記のとおり公募します。

I. 公募の区分

1. 「限定型」

(2) テーマ（分野）

- a : 量子多体相関の計算物理学に関する学際的研究
- b : ナノ表面理論
- c : 多重極限環境下での比熱測定
- d : 回転超流動 ^3He 実験
- e : 高輝度光源加速器の開発・研究
- f : 中性子反射率計および関連するビームラインの開発研究

(2) 公募人員

- a : 助教授 1名 d : 助教授 1名
- b : 教授 1名 e : 教授 1名
- c : 助教授 1名 f : 助教授 1名

(3) 期 間

- a b : 平成15年4月1日～平成15年9月30日（前期）
- c : 平成15年10月1日～平成16年3月31日（後期）
- d e f : 平成15年4月1日～平成15年3月31日（通年）

(4) 研究条件

- ① 研究室の共用、その他可能な範囲で研究上の便宜を計る。
- ② 研究費及び本研究所との間の往復旅費、滞在費を支給する。
- ③ なるべく多くの時間を本研究所における研究活動にあてること。

2. 「提案型」

(1) テーマ（分野）

応募者自らテーマ（分野）を提案

(2) 公募人員 教授または助教授 2～3名

- #### (3) 期 間
- 通年：平成15年4月1日～平成16年3月31日
 - 半期：平成15年4月1日～平成15年9月30日
 - または
 - 平成15年10月1日～平成16年3月31日

(4) 研究条件

- ① 研究室の共用、その他可能な範囲で研究上の便宜を計る。
- ② 研究費として通年で最大300万円(理論150万円)、及び本研究所との間の往復旅費、滞在費を支給する。
- ③ 滞在日数は半期で1ヶ月以上をめどとする。

3. 参考として、本研究所に外国人客員研究員として招へいを予定している者は下記のとおりである。

氏 名	国 籍	所 属	招へい期間	担当所員
ZHENG, Hang	中華人民共和国	上海交通大学	H15.1～15.4	高 田
TOZER, Stanley	アメリカ合衆国	National High Magnetic Field Laboratory	H15.5～15.7	上 床
BOOS, Herman	ロシア連邦	Institute for High Energy Physics	H15.9～16.2	高橋(實)
NAZAROV, Vladimir	ロシア連邦	九州工業大学工学部電気工学科	H15.4～15.8	高 田
SAMPATHKUMARAN, Echur	イ ン ド	Tata Institute of Fundamental Research	H15.8～16.4	上 床
ZHANG, Fu - Chun	アメリカ合衆国	Department of Physics, University of Cincinnati	H16.3～16.8	上田(和)

II. 公募締切

平成14年11月29日(金) (必着)

III. 提出書類

(イ) 推薦の場合：

- 推薦書 (本人の本研究所における研究計画に関する記述を含む)
- 履歴書
- 業績リスト (必ずタイプすること) ほか出来れば主要論文の別刷

(ロ) 応募の場合

- 履歴書
- 業績リスト (必ずタイプすること) ほか出来れば主要論文の別刷
- 所属の長などによる本人についての意見書 (書類提出先へ直送)
- 研究計画書 (本研究所滞在可能期間の推定を含む)

(ハ) 「提案型」の場合は、上記(イ)又は(ロ)の他に、次の資料が必要です。

- テーマ(分野)及び具体的研究計画
- 通年か半期の別
- 主要論文の別刷5編
- 物性研における研究関連所員名(複数も可)および関連所員との事前打合せに関する記述(必ず事前に所員と連絡をとること)
- 予定滞在日数
- 必要研究経費(概算)

IV. 書類提出先及び問い合わせ先

〒277-8581 千葉県柏市柏の葉5丁目1番5号
東京大学柏地区庶務課人事掛
電話 04 (7136) 3205 e-mail: jinji-kakari@issp.u-tokyo.ac.jp

V. 注意事項

- (1) 応募に際しては本研究所所員とあらかじめ連絡をとること。
- (2) 封筒に「客員教授(助教授)応募書類在中」或いは「意見書在中」と朱書きで明記のうえ、書留で郵送のこと。

VI. 選考方法

東京大学物性研究所人事選考協議会での審議に基づき、物性研究所教授会で決定する。

平成14年7月30日

東京大学物性研究所長
福山秀敏

Technical Report of ISSP 新刊リスト

Ser. A

- No. 3665** Unconventional Heavy-Fermion Superconductor $CeCoIn_5$: Dc Magnetization Study at Very Low Temperature down to 50mk, by Takashi Tayama, Akira Harita, Toshiro Sakakibara, Yoshinori Haga, Hiroaki Shishido, Rikio Settai and Yoshichika Onuki.
- No. 3666** Electronic Structure of Ag Thin Films on Ge(001) Surface, by Kan Nakatsuji, Masamichi Yamada, Shin-ya Ohno, Yoshitaka Naitoh, Takushi Iimori, Taichi Okuda, Ayumi Harasawa, Toyohiko Kinoshita and Fumio Komori.
- No. 3667** Ultrafast Dynamics of Lattice Relaxation of Excitons in Quasi-One-Dimensional Halogen-Bridged Platinum Complexes, by Shinichi Tomimoto, Shingo Saito and Tohru Suemoto.
- No. 3668** Measurement of Anisotropic Transport Using Unidirectional Lateral Superlattice with Square Geometry, by Akira Endo and Yasuhiro Iye.
- No. 3669** Takahashi Integral Equation and High-Temperature Expansion of the Heisenberg Chain, by Masahiro Shiroishi and Minoru Takahashi.
- No. 3670** Theory of Resonant Inelastic X-ray Scattering in f and d Electron Systems, by Akio Kotani.
- No. 3671** Free Flux Resistivity in Strongly Overdoped High-Tc Cuprate; Purely Viscous Motion of the Vortices in Semiclassical D-Wave Superconductor, by Yuji Matsuda, Akinori Shibata, Koichi Izawa, Hiroshi Ikuta, Masashi Hasegawa and Yusuke Kato.
- No. 3672** Correlated Motion of Small Ag Clusters and Ge Dimer-Buckling on Ge(001), by Yoshitaka Naitoh, Kan Nakatsuji and Fumio Komori.
- No. 3673** Formation Process of Very Thin Ag Structures on Ge(001) Surface Below RT, by Yoshitaka Naitoh, Kan Nakatsuji and Fumio Komori.

編集後記

柏キャンパスに移転して3回目の夏を迎えます。今年の7月は、例年になく台風が多く接近し、その後は暑い日が続いています。六本木キャンパスでは、所員室の冷房はほとんど効かず、ときには契約電力の関係で電源を切られたりしたことが思い出されます。そんな中、今日（8月1日）尾身科学技術政策担当大臣が柏キャンパスに視察に来られました。

さて、第2号は、短期研究会やISSPワークショップの報告を中心にお届けします。後者は、最近できた制度で、適正な規模でタイムリーに研究会を開くのに適しています。関連所員と相談のうえ有効に活用して頂ければと思います。今年度も11月1日と2日に一般公開を行います。

今年度中には、物性研とも関連の深い新領域の研究室が柏キャンパスに順次移転してきます。この夏の間にも2、3の研究室が先頭を切って移ってくると聞いています。新キャンパスも徐々にですがにぎやかになってきます。他方では、それに伴いキャンパス利用計画の基本的合意事項についてまで議論しなければいけない点も出始めています。

高橋 敏男