戦略的創造研究推進事業

研究領域「新規材料による高温超伝導基盤技術」

研究課題「薄膜法による FeAs 系およびその周辺超伝導物質の探索」

研究終了報告書

向田 昌志

国立大学法人 九州大学 大学院工学研究院 教授

§1. 研究実施の概要

(1)実施概要

研究の狙い:鉄ニクタイド系材料;(1111)構造(REFeAsOF)、(122)構造(BaFe₂As₂)、 (11)構造(FeSe)が銅酸化物超伝導体と同様に二次元伝導面からなる積層パターンを持 つことに着目し、積層パターンを自在に操ることのできる①layer by layer エピタキシャル 技術、②最適組成を高速に探すコンビナトリアル膜作製技術、また③GaAs 系化合物半導 体エピタキシャル膜作製経験や蒸気圧の高い Tl 系超伝導体膜作製技術等を活かし、薄膜に よる物質探索・高品質鉄系超伝導膜実現を目指す。特に図1に示すように、一枚の基板上に 多彩な組成・構造を持つ材料を作製し、それを低温レーザー走査顕微鏡や走査型磁気顕微 鏡等で超伝導転移温度等を高速に評価することにより、超伝導特性の微小領域評価を行う。 その中で、転移温度の高い部分の微小領域 X 線回折、EBSP(方位解析)、さらにはマイクロ サンプリングによる透過電子顕微鏡観察・制限視野回折による結晶構造解析と多種多様な 方法で微小領域の組成・構造とその超伝導特性との一括評価を高速に行い、鉄ニクタイド 系材料の全容を早期に明らかにできるようにすることを目的としている。



図1. コンビナトリアル手法による高速物質探索

概要:当研究チームでは、レーザー蒸着法による高品質な薄膜作製とその必須条件の探求のために、グローブボックス等酸素の流入しない研究環境の整備と毒性のあるヒ素やセレン等が流出しない研究環境を整備しつつ薄膜試料の作製と構造解析、超伝導特性評価を進めた。しかし当初、酸化物基板上に作製した超電導薄膜の特性は、作製方法、あるいは、作製者によりバラつきがあり、物質本来の特性を議論できる薄膜かどうか疑わし状況であった。そこで、各種酸化物基板を用いて、超電導特性測定および微細構造評価を実施した結果、基板材料により超電導薄膜の成長、および、超電導特性が変化することが明らかになった。特に酸化物基板では、酸素が薄膜内に拡散していることを走査型組成分析(STEM-EDX)で明らかにし、酸素を含む基板での酸素の拡散という警鐘を鳴らし、酸素のない CaF₂ 基板を用いた薄膜作製へと移行した。

これらの薄膜作製・超伝導特性評価と並行して、コンビナトリアル膜実現時に向けて、微小領域の 超伝導特性を非接触で迅速に評価する新規な評価手法として提唱していた、走査型レーザー顕 微鏡、走査型磁気顕微鏡を従来の 80K ほどの高い測定温度領域から、5K ほどの極低温動作へ の抜本的な装置改造を行った。これらの改造により当研究チームが作製している 11 系 Fe(SeTe) や Fe(TeS)系超伝導膜のよう T_c が 10K 以下の膜でも測定できるようになり、薄膜内微小領域の超 伝導特性分布を短時間で可視化できるようになった。 (2)顕著な成果

① 酸素を含まない鉄系超伝導薄膜の作製には、酸素の除去が不可欠であり、盲点となっていた酸素を含まない基板の使用が重要であることを見出した。これを国内外に報告することにより、鉄系超伝導膜の高品質化が大きく推進させることとなった。

概要:エキシマレーザーPLD 法により各種酸化物基板上に作製された FeTe_{0.5}Se_{0.5}薄膜について 透過型電子顕微鏡を用い基板界面近傍の微細構造評価や組成分析を行ったところ、基板材料 の違いにより、膜内部に拡散していく酸素量が大きく異なることを見出した。これにより、フッ化物 系基板を用いること、フッ素の供給源とすること等の技術発展につながった。

② 鉄系超伝導体発見の東工大細野グループに続いて、ゼロ抵抗となる鉄系超伝導薄膜を日本で二番目に実現するとともに、Fe(SeTe)、Fe(TeS)系など11系超伝導膜作製に集中して電流輸送特性を明らかにした。

概要:FeSeTe 系では日本で最初に、ゼロ抵抗の超伝導膜作製に成功し、また FeTeS 系では世界 で初めて、FeTeS 超伝導体のエピタキシャル薄膜化に成功し T_c =6K 程度の膜を得た。その微細 組織観察や米国ロスアラモス研究所の強磁場施設を用いて直接的な上部臨界磁場の測定を行 った。またこの膜は 4.2K での J_c として 1kA/cm²程度の値を得た。現在では Fe(SeTe)系で T_c = 16K、 J_c =0.3MA/cm²@4.2K を達成し、磁場中 J_c の劣化も少ないことを確認。Fe(TeS)系では 8K のゼロ抵抗温度を持つ 11 系薄膜を実現しており、 J_c の磁場角度依存性も明らかにしている。

③磁気顕微法による超伝導薄膜中の高速特性分布評価技術の確立

概要:試料内の T_cならびに J_cの空間分布を定量的にかつ短時間で評価する手法を開発した。本 手法は、非破壊・非接触で評価可能なことから、1)迅速な T_cならびに J_cの空間分布評価、2)試料 形状による制限が少ない、さらに 3) 透過電子顕微鏡による微小領域観察などや他の評価手法と の複合化により、コンビナトリアルケミストリー化が容易であるという利点を有する。

§2. 研究実施内容

諸言:LaOFeAs 系高温超伝導物質の発見に始まり、BaFe₂As₂系、Fe-Se 系などの新しい鉄系 超伝導体が次々発見されている。これら鉄系超伝導体は銅酸化物高温超伝導体と同様に層 状物質であり、その超伝導発現機構や磁場中での超伝導特性などに興味が持たれている。 しかしこのような物性解明に用いられる試料は焼結体が多く、単結晶での研究は進んでは いるものの、さらに応用を目指した基礎物性の解明には、薄膜形態の試料が必要である。 そこで、高品質薄膜の必須薄膜条件の探求とその試料・知見の TRiP 内外への提供と、新 奇材料のコンビナトリアル化学合成薄膜の高速特性評価手法の確立を目指して、研究を進 めたので報告する。

実験方法:薄膜作製はパルスレーザー蒸着(PLD)法を用いて行った。ターゲットとなるペレットは、 それぞれの材料をアルゴン雰囲気のグローブボックス内で秤量混合し、真空固相反応法により作 製した。薄膜成長に用いた基板は、MgO(a=4.212 Å)、SrTiO3(a=3.905 Å)、LaSrGaO4(a=3.844 Å), LaAlO3(a=3.790 Å)、LaSrAlO4(a=3.754 Å)、YSZ(a/ $\sqrt{2}$ =3.624 Å)、CaF2((a/ $\sqrt{2}$ =3.861 Å)で ある。

薄膜の評価では、結晶構造や配向性は、X 線回折法、微細構造は透過電子顕微鏡観察、表面

形状は走査電子顕微鏡や原子間力顕微鏡、電流輸送特性はPPMSや通常の四端子法、局所的 な超伝導特性は走査型レーザー顕微鏡、走査型磁気顕微鏡で行った。

結果:向田グループではすぐにFeSe系の薄膜作製に取り掛かり、TRiP内で細野研に次いで日本 で二番目にゼロ抵抗を示す鉄系超伝導膜の作製に成功した。4その後、松本グループでは世界 で初めて FeTeS 系の超伝導薄膜作製に成功し^{1,3,5)}、米国ロスアラモス研究所の強磁場施設を用 いて直接的な上部臨界磁場の測定を行い、4.2Kのよとして1000A/cm2程度の値を得た。さらに、 吉田グループが磁場中 J--Bの角度依存性を評価した結果⁹、磁場中での角度に対する J-の変 化はなだらかで、これまで報告されている Y 系酸化物系薄膜などにくらべ異方性が低いことが分 かった。現在では、FeTeSe 薄膜においては、Tcオンセットで約20Kの膜を得ている。作製した各 薄膜の XRD による θ-2θ スキャン結果から、FeTeSe、FeSe ではほとんどの薄膜で 00n のピーク が観測され、薄膜は c 軸配向していることが分かった。4また ω スキャン結果とφスキャン結果より c 軸配向、面内配向共に良好であることが分かった。図2に作製した各薄膜のPPMSによる抵抗− 温度測定の結果を示す。FeTeSe 薄膜は膜厚及び周波数依存性の結果から、膜厚を厚く、周波 数を減らすほど T_cが向上することが確認され、CaF,基板上において 300℃、3 Hz、10800 pulse の条件で 16.18 K のゼロ抵抗が得られ、非酸化物基板の高いポテンシャルが確認できた。またこ のとき、Tcオンセットとして20.0 Kが得られた。この膜は4.2K、ゼロ磁場において、Jc=0.3MA/cm² を達成し、磁場中Jcの劣化も少ないことも確認できた。一方、吉田グループでは、固相エピ法も検 討した。固相エピ法は、レーザー蒸着法で室温基板にアモルファスの膜を蒸着し、それをアルゴ ン雰囲気内で反応させる方法で、この方法でも Tc=8.0K の膜が得られている。



図2 CaF2 基板上に成膜した FeTeSe 薄膜の Tc (a)膜厚依存性、(b)周波数依存性

(b)

(a)

このように、高い超伝導転移温度の膜が得られるようになった、一番の理由は、基板材料からの酸素の拡散を防いだことによる。当初、鉄系超電導薄膜の作製にこれらの酸化物基板材料が用いられた。¹⁻⁴しかし、酸化物基板上に作製した超電導薄膜の特性は、作製方法、あるいは、作製者によりバラつきがあり、物質本来の特性を議論できる薄膜かどうか疑わし状況であった。そこで、各種酸化物基板を用いて、超電導特性測定および微細構造評価を実施した結果、基板材料により超電導薄膜の成長、および、超電導特性が変化することが明らかになった。¹⁻⁵酸化物基板上に成膜した FeTeSe 薄膜の基板界面の断面 TEM 像観察から、MgO、LaAlO₃の基板と薄膜の界面は 非常にきれいであり、異相は存在しない。一方、LaSrGaO₄、YSZ と薄膜の界面には、2~3nm のア モルファスライク層が存在している。SrTiO₃、LaSrAlO₄と薄膜の界面は、LaSrGaO₄、YSZ のように



図 3 YSZ 基板上に作製した薄膜の基板界面付近の組成分析

基板界面にアモルファスライク層が無い MgO, LaAlO₃ では薄膜内部に酸素が存在しないが,アモルファスライク層がある SrTiO₃, YSZ では薄膜内部に酸素が存在することが分かった。

明瞭ではないがアモルファスライクの薄い層が存在することが分かった。図3に YSZ 基板上に作 製した薄膜の基板界面近傍の組成分析の結果を示す。 図 3 から基板界面に薄い異層が無い MgO、LaAlO。では薄膜内部に酸素が観測されないが、SrTiO。、YSZ では薄膜内部に酸素が存在 している。作製条件は全く同じであることから、薄膜内部の酸素は基板から供給されたと考えられ る。酸化物基板の中でイオン伝導体の一種であるYSZでは、最も顕著に酸素の拡散が観察され、 基板と超電導膜の界面にアモルファスライク層が形成し、酸素は膜内部まで侵入していることが分 かった。また、YSZ 上の薄膜は c 軸配向しているが、面内に配向しておらず、エピタキシャル成長 していないことが分かった。^{6、7)}一方、イオン結合性の強い MgO 基板、あるいは、ペロブスカイト構 造(ABO3)において、A、B 元素とも3 価の LaAlO3 基板では、酸素の超電導膜への拡散はほとん ど無く、臨界温度の高い超電導膜が得られた。A²⁺、B⁴⁺のSrTiO3基板では、AサイトとBサイトの 電荷の揺らぎにより酸素の拡散がわずかに生じ、酸素が界面近傍の超電導膜に分布している状 況が見られた。また、YSZ 基板程ではないが、界面にアモルファスライクの薄い層が形成されてい た。以上の結果より、酸化物基板の酸素の安定性の度合いにより、成膜中に基板から超電導膜 内に酸素が拡散することが分かった。成膜中の基板から薄膜への酸素の拡散は、薄膜のエピタキ シャル成長を阻害するとともに、超電導特性の低下の要因となる。このように、鉄系超電導薄膜の 作製において、酸化物基板を使用する場合には適切な基板材料を選択することが重要であること が分かった。これは、他の鉄 11 系の Fe(TeS)薄膜においても同様な傾向があった。^{3.5}Nd:YAG レ ーザーの2倍波を用いた PLD 法により LaAlO3、MgO、SrTiO3基板上に作製した Fe(TeS)薄膜に おいて、基板界面付近の微細構造と組成分析を行った結果、Fe(TeSe)薄膜の結果とは異なり、す べての基板で超電導膜との界面に異相は無く、きれいに接合していた。一方、薄膜内部の酸素 含有量は、基板材料により変化し、SrTiO。基板が最も多く、次に MgO、LaAlO。基板の順で酸素 含有量が少なくなった。この傾向は、Fe(TeSe)薄膜と同様である。また、LaAlO。基板上の Fe(TeS) 薄膜の微細組織において、結晶配列の乱れが最も少なく、それを反映して LaAIO。基板上の Fe(TeS)薄膜の T_conset 温度は最も高く、11K を示した。他の2つの薄膜の T_conset 温度は約7K であった。このように、酸化物基板材料に依存して、作製した薄膜の微細構造、および、超電導特 性が変化することが分かった。
⁷以上のことから、鉄系超電導薄膜を作製する際に酸化物基板を 使用した場合には、基板からの超電導薄 膜内部への酸素の拡散を考慮し、高品質 の薄膜を得るためには、成膜中の基板から の酸素の拡散を抑制しなければならないこ とが明らかになり、これが現在主流となって いる CaF, 基板使用へとつながった。

次に、本研究プロジェクト開始時からの目 標である、「試料内の T_c ならびに L_c の空間 分布を定量的に短時間で評価する手法」 については、装置の大幅な改造により評価 手法が確立した。具体的には、松本グルー プ(九工大)によって $CaF_2(100)$ 単結晶上に 作製された、膜厚 400nm の $Fe(Te_{0.5}Se_{0.5})$



1 mm

図 4 磁気顕微鏡によって観測された残留磁束 像と試料の光学顕微鏡写真

薄膜試料に対し、木須グループ(九大)で、磁気顕微法を用いて残留磁化の空間分布を測定し、 試料面内の J。ならびに T。の分布を明らかとした。

図4に測定に用いた試料の光学顕微鏡写真に、5.5 Kにおける残留磁束の空間分布を重畳した観測結果を示す。さらに、磁束分布よりビオ・サバール則の逆問題を解くことによって現在では、 試料面内の磁化電流ベクトルの長手方向成分(J₄)、幅方向成分(J₄)ならびに振幅Jを得ている。試 料厚は十分薄いため、膜厚方向の電流分布は均一と仮定し、シード電流密度(単位幅あたりの電 流値)を示している。磁化電流の振幅は局所的な J_cに等しい。試料内の数カ所に、電流を著しく 制限している箇所が散見され、これらが輸送電流を制限していることが分かる。J₄を幅方向に積分 し、輸送電流の臨界電流値の長手方向分布を評価した結果、通常の四端子法による測定では、 観測される臨界電流値は試料内部の J_c の最小値で制限されているが、実際には局所的に数倍 大きい J_c 値を有する領域が内部に存在しており、島状の限られた領域ではあるものの、左端の 1mm 角程度の領域では J_cは 0.15 MA/cm² (0.6 A/mm)に達する。すなわち、試料の均一性が向 上すれば試料全体に亘る高 J_c化が可能である。さらに、図5 に示す残留磁束の温度依存性を見 ると、T_c 近傍までほぼ同様のパターンを有していることから、T_c の分布はそれほど顕著ではないこ とが分かる。左端のJ_cの高い領域はむしろ 0.5K ほど低い T_cを示しており、J_cと T_cとが必ずしも対 応していない点は興味が持たれる。以上の様に、試料面内の超伝導特性の分布を100µm 程度の 空間分解能で可視化し、現在の試料において空間分布が顕著に影響している事を明らかとした。



図5 残留磁束の温度依存性



図 6 KCl(50.6)-NaCl を溶媒として得られた結晶、(a) 光顕写真 (b) XRD 測定結果。

局所的には比較的高い J。を有する領域が存在しており、高品質薄膜実現のためには、ピン止め 特性の制御に先立ってまずはこれらの空間分布の低減が急務となる。本研究によって、その為の 薄膜プロセス技術と評価技術とが連携したスキームを確立したと言える。

最後に、本研究グループでは、接合作製も行った。図6に示すような正方晶FeSeTe系単結晶を フラックス法で作製し、その単結晶を基板として薄膜の成膜を試みた。本研究の目的はジョセ フソン接合素子の作製とギャップエネルギー等の解明であるが、本実験においては、まず 単結晶上への薄膜形成が可能であるかを調べる目的でFeSe_{0.5}Te_{0.5}単結晶上に同じ結晶構造 を持つ正方晶FeTe薄膜の作製を試みた。その結果、EDX分析の結果から、薄膜及び基板 は多少の酸化が見られるもののFe、Se、Teの3元素のみからなることが確認でき、FeSeTe 系単結晶基板上への薄膜作製が可能であることを示した。

§3. 研究実施体制

(1)「向田」グループ(研究機関別)

研究者名

	氏名	所属	役職	参加時期
0	向田昌志	(国)九州大学	教授	H20.10- H24.3
	森信幸	(国)九州大学	准教授	H20.10- H22.3
	寺西亮	(国)九州大学	助教	H20.10- H22.3
	甲斐英樹	(国)九州大学	博士後期課程	H20.10- H22.3
	高村真琴	(国)九州大学	博士後期課程	H20.10- H22.3
*	吉本貴俊	(国)九州大学	博士後期課程	H20.10- H22.3
	横田和也	(国)九州大学	博士前期課程	H20.10- H22.3
	結城健太	(国)九州大学	博士前期課程	H20.10- H22.3

② 研究項目

1. 新超伝導膜創製

● エピタキシャル膜の追求 (高品質薄膜化班:向田G、吉田G)

2. 特性評価

- マイクロサンプリングによる評価 (構造解析班:向田G、一瀬G)
- (2)「松本」グループ(研究機関別)

①研究参加者

	氏名	所属	役職	参加時期
0	松本 要	(国)九州工業大学	教授	H20.10-H24.3
	春山康則	(国)九州工業大学	博士前期課程	H20.10-H22.03
	藤田 康平	(国)九州工業大学	博士前期課程	H21.10-H24.03
	永芳 宏昭	(国)九州工業大学	博士前期課程	H21.10-H24.03

②研究項目

- 1. 新超伝導膜創製
 - コンビ薄膜法による探索 (薄膜法による材料探索班:松本G、吉田G)
- 2. 特性評価
 - 粒界・臨界電流評価(臨界電流評価班:木須G、松本G、吉田G)

(3)「木須」グループ(研究機関別)

① 研究参加者

	氏名	所属	役職	参加時期
\bigcirc	木須 隆暢	(国)九州大学	教授	H20.10-H24.3
	井上 昌睦	(国)九州大学	助教→准教授	H20.10-H24.3
	東川 甲平	(国)九州大学	助教	H23.10~H24.3

②研究項目

- 1. 特性評価
 - 高速特性評価 (高速特性評価班:木須G、一瀬G)
 - 粒界・臨界電流評価 (臨界電流評価班:木須G、松本G、吉田G)
- (4)「吉田」グループ(研究機関別)
- ① 研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
吉田 隆	(国)名古屋大学	准教授	H20.10- H24.03
一野祐亮	(国)名古屋大学	助教→准教授	H20.10- H24.03
舩木修平	(国)名古屋大学	博士後期課程	H20.10- H21.09
尾崎壽紀	(国)名古屋大学	博士後期課程	H20.10- H22.03
吉田 圭	(国)名古屋大学	博士前期課程	H22.04-H24.03

②研究項目

- 1. 新超伝導膜創製
 - コンビ薄膜法による探索 (薄膜法による材料探索班:松本G、吉田G)

- エピタキシャル膜の追求 (高品質薄膜化班:向田G、吉田G)
- 2. 特性評価
 - 粒界・臨界電流評価 (臨界電流評価班:木須G、松本G、吉田G)
- (5)「一瀬」グループ(研究機関別)

① 研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
一瀬中	電力中央研究所	上席研究員	H20.10- H24.3

②研究項目

- 1. 特性評価
 - 高速特性評価 (高速特性評価班:木須G、一瀬G)
 - マイクロサンプリングによる評価 (構造解析班:向田G、一瀬G)

§4. 成果発表等

(4-1) 原著論文発表

- 発表総数(発行済:国内(和文)0件、国際(欧文)9件):
- ② 未発行論文数("accepted"、"in press"等)(国内(和文) 0件、国際(欧文)0件)

③ 論文詳細情報

- Paolo Mele, Kaname Matsumoto, Yasunori Haruyama, Masashi Mukaida, Yutaka Yoshida, Takanobu Kiss, "Fabrication of Fe-Te-S Superconducting Epitaxial Thin Films by Pulsed Laser Deposition", Appl. Phys. Exp. vol. 2 no. 7, p. 73002, 2009, DOI: 10.1143/APEX.2.073002
- Y. Imai, T. Akiike, M. Hanawa, I. Tsukada, A. Ichinose, A. Maeda, T. Hikage, T. Kawaguchi, H. Ikuta, "Systematic comparison of eight substrates in the growth of FeSe0.5Te0.5 superconducting thinfilms", Appl. Phys. Express 3, 043102, 2010, DOI: 10.1143/APEX.3.043102
- P. Mele, K. Matsumoto, Y. Haruyana, M. Mukaida, Y. Yoshida, Y. Ichino, T. Kiss, A. Ichinose, "In-field characterization of FeTe0.8S0.2 epitaxial thin films with enhanced superconducting properties", Supercond. Sci. Technol. Vol23, No.5, 052001, 2010, DOI: 10.1088/0953-2048/23/5/052001
- Y. Yoshimoto, Y. Ichino, Y. Yoshida, T. Kiss, M. Inoue, K. Matsumoto, A. Ichinose, H. Kai, R. Teranioshi, N. Mori, M. Mukaida, "A trial of Fe)se1-xTex) thin film fabrication by pulsed laser deposition using ArF excimer laser", J. Phys.;Conf. Ser. 234, 012051, 2010, DOI: 10.1088/1742-6596/234/1/012051
- P. Mele, K. Matsumoto, Y. Haruyama, M. Mukaida, Y. Yoshida, Y. Ichino, T. Kiss, A. Ichinose, "Pulsed laser deposition and in-field characterization of FeTe_{0.8}S_{0.2} epitaxial thin films with enhanced superconducting properties", Physica C 470, pp.1033-1037, 2010, DOI:10.1016/j.physc.2010.05.028

- Ichiro Tsukada, Masafumi Hanawa, Seiki Komiya, Ataru Ichinose, Takanori Akiike, Yoshinori Imai, Atsytak Maeda, "Mobility analysis of FeTe thin films", J. of Phy. Soc. of Japan 80, 023712, 2011, DOI: 10.1143/JPSJ.80.023712
- Masafumi Hanawa, Ataru Ichinose, Seiki Komiya, Ichiro Tsukada, takanori Akiike, Yoshinori Imai, Tatsuo Hikage, Takahiro Kawaguchim Hiroshi Ikuta, "Substrate dependence of structural and transport properties in FeSe0.5Te0.5 thin films", Jap. J. Appl. Phys. Vol. 50, No. 5, 053101, 2011, DOI: 10.1143/JJAP.50.053101
- Ichiro Tsukada, Masafumi Hanawa, Takanori Akiikem Fuyuki Nabeshima, Yoshinori Imai, Ataru Ichinose, Seiki Komiya, Tatsuo Hikage, Takahiko Kawaguchi, Hiroshi Ikuta, Atsutaka Maeda, "Epitaxial growth of FeSe0.5Te0.5 thin films on CaF2 substrates with high critical current density", Appl. Phys. Express 4, 053101, 2011, DOI: 10.1143/APEX.4.053101
- K. Yoshida, Y. Yoshida, Y. Ichino, Y. Takai, A. Ichinose, K. Matsumoto, T. Kiss, M. Mukaida, "Epitaxial films of FeTe1-xSx fabricated by second harmonic Nd:YAG pulsed laser deposition", Physica C vol. 471 no. 21-22, p. 132, 2011, doi:10.1016/j.physc.2011.05.154

(4-2) 特許出願

TRIP 研究期間累積件数(国内 0件、海外 0件)

§5. 結び

(5-1)研究成果の意義、今後の展開

- ・ 酸素がコンタミとして悪影響を及ぼし、基板からの拡散を抑えることが重要
 - 鉄系超伝導膜作製において、酸素が非常に悪さをしていることを明らかにし、これまで認識されていなかった基板を構成する酸素が膜内に拡散し、超伝導転移温度を低下させていることを示した。これにより、酸素を含まない CaF₂ 基板などが必須であることが分かった。この知見により、酸素を含まない鉄系超伝導膜作製が容易に作られるようになり、物性解明に用いられるサンプルが少なかった鉄系超伝導体の研究を加速することができる。

鉄系超伝導薄膜の作製と超伝導特性評価

FeSeTe 膜で得られた T_c オンセットとして 20.0 K、4.2K ゼロ磁場において、 J_c =0.3MA/cm²、 さらに磁場中 J_c の劣化も少ないこと、また、FeTeS 膜ではあるが、磁場中 J_c -**B**の角度依存性 から、角度に対する J_c の変化がなだらかで、これまで報告されている Y 系酸化物系薄膜など にくらべ異方性が低いことも確認できたことは、この鉄系超伝導膜の高いポテンシャルを示す ものである。しかし、まだ膜内の均一性が不十分であるため、均一性を高めて、臨界電流密度 の結晶角依存性評価、接合作製とギャップエネルギー測定とともに国内外へのサンプル供給 も行う予定である。

・ 磁気顕微法による超伝導薄膜中の高速特性分布評価技術の確立

試料内の T_cならびに J_cの空間分布を定量的に、かつ短時間で評価する手法の確立は、今後の新超伝導材料探索に、コンビナトリアル手法が適用できることを示し、今後の新超伝導材料探索を飛躍的に推進させることのできる非常に有効な方法である。今後は、一枚の基板内で組成を2次元的かつ段階的に変化させた膜を基板、基板温度、組成エンドメンバーを変えて作製し、それを短時間で超伝導転移温度の高い場所を探し出し、その部分をマイクロサン

プリングで取り出し、STEM-EDX による組成分析、SAD・TEM による構造解析等により、材料 探索の迅速化を図り、他国よりも先に、発見・特許化することができるという不可欠な技術に成 長すると考えられる。

- (5-2) その他
- TRIP研究を進めてきた中で、プロジェクト運営について(チーム/個人の研究遂行、研究費の使い方等)、その他戦略創造的研究推進事業に対する意見、要望等を自由に記入してください。