

高温超電導体薄膜

High Temperature Superconductor Films

高温超電導体薄膜のエレクトロニクス分野への展開には、高臨界温度 T_c 、および高臨界電流密度 J_c を持つ薄膜作製ならびに半導体デバイスとの結合を可能にする膜作製プロセスの低温化が必要である。

T_c は精密な組成制御により、Y系で90 K、Bi系で110 KおよびTl系で115 Kのバルクに近い値を達成した。 J_c は結晶欠陥と結晶方位の制御で、Y系で、77 Kで 2×10^6 A/cm²の高い値を達成した。膜形成の低温化に関しては、有磁場マイクロ波酸素プラズマで励起する反応性蒸着装置を新しく開発し、超電導体薄膜が450 °Cの低温で結晶化することを確認した。

会田敏之* Toshiyuki Aida

小園裕三** Yûzô Kôzono

1 緒 言

臨界温度30 Kの(La, Ba)₂CuO₄の発見以来¹⁾、液体窒素温度(77 K)以上で超電導特性を示す酸化物高温超電導材料が次々と発見され、新材料の探索研究とともに、それらの応用に関する研究が世界中で盛んに行われている。なかでも、高温超電導体のジョセフソン素子、超電導トランジスタおよび超電導配線への応用は、低消費電力の超高速コンピュータを実現する基本技術として期待されている。また、本材料はSQUID(超電導量子磁束干渉計)をはじめとして、これまでにない新しいエレクトロニクスデバイスを生み出す可能性がある。しかし、液体窒素温度で超電導素子や超電導配線を安定に動作させるためには、薄膜の臨界温度 T_c が150 Kと高いこと、臨界電流密度 J_c も 10^7 A/cm²以上とれる必要があると言われて²⁾。さらに、酸化物超電導体はSiやGaAsなどの半導体と反応しやすいため、半導体基板上に直接薄膜作製しにくい問題がある。そのため、400 °C以下の低温で薄膜作製することが望まれている。なお、薄膜作製は各種デバイスへの応用のほかに、基板と膜との相互作用を利用して、結晶性や配向性を制御できる利点があるので、高温酸化物超電導体の物性研究にも有用である。

本稿は高温酸化物超電導体薄膜の形成法、伝導特性および膜の微細構造観察の結果と酸素プラズマを用いた反応性蒸着法による薄膜の低温形成に関する現状について述べる。

2 高臨界温度薄膜

2.1 酸化物超電導体の結晶化学

高温超電導体は銅酸化物で発現し、これまで種々の新しい

物質が発見されているが、結晶構造はすべてペロブスカイト形構造を基本としている³⁾。伝導キャリアには正孔と電子があるが、臨界温度 T_c が30 K以上の酸化物超電導体は正孔キャリアで出現し、結晶内に2次元平面のCuO₂層を持っているのが特徴である³⁾。臨界温度 T_c 30 Kの(La, Ba)₂CuO₄系では、典型的なCuO₆八面体の連結構造の中にCuO₂平面を1層含んでいる。 T_c 90 KのYBa₂Cu₃O_{7-x}は、酸素欠損三重ペロブスカイト形構造と言われ、二つのCuO₅ピラミッド連結構造がYを挟んで向かいあっており、単位格子にCuO₂平面を2層含んでいる。

T_c 110 KのBi-Sr-Ca-Cu-O系⁴⁾、 T_c 120 KのTl-Ba-Ca-Cu-O系⁵⁾は、複合層状欠陥ペロブスカイト形構造をとる。Bi系では単位格子にCuO₂平面を2層含むBi₂Sr₂Ca₁Cu₂O_yと3層含むBi₂Sr₂Ca₂Cu₃O_yが存在する。前者は T_c 85 Kで、後者は T_c 110 Kである。

高温超電導の発現には、カチオンサイトを異なる価数のイオンで置換したり、酸素濃度を高めることで、CuO₂の伝導面に正孔キャリアを導入することにあると言われて³⁾。したがって、薄膜作製には、多元金属の精密な組成制御をすることで超電導体となるペロブスカイト形構造を作り、さらに酸化処理で高酸化状態にすることが不可欠である。

2.2 Y系、Bi系およびTl系薄膜の臨界温度

高温酸化物超電導体の薄膜作製は、国内外の研究機関で盛んに行われている。 T_c に関してはほぼバルクに近い値になっている⁶⁾。次に、研究結果について述べる。

スパッタリング法でMgO(100)基板上に作製したY-Ba-Cu-

* 日立製作所中央研究所 工学博士 ** 日立製作所日立研究所 工学博士

O, Bi-Sr-Ca-Cu-OおよびTl-Ba-Ca-Cu-O薄膜の電気抵抗率-温度特性を図1に示す。薄膜は膜作製後850℃前後の温度で、酸素中または大気中の熱処理が施してある。零抵抗になる臨界温度 T_c は、それぞれ90 K, 110 K, 115 Kとなっている。前述したように、Bi系およびTl系では高 T_c 相と低 T_c 相の2種類の結晶相が存在する。上記の T_c の値は、いずれも高 T_c 相の結晶相を反映した値である。

超電導電流が流れる結晶構造中の CuO_2 面の数に着目して³⁾, T_c との関係を整理した結果を図2に示す。単位格子中の CuO_2 面の数が多くなるにつれて、 T_c が高くなっている。現在は CuO_2 面の数が3層で110~120 Kになっているが、さらに CuO_2 面の層数が増えると、 T_c が上昇することが期待される。しかし、

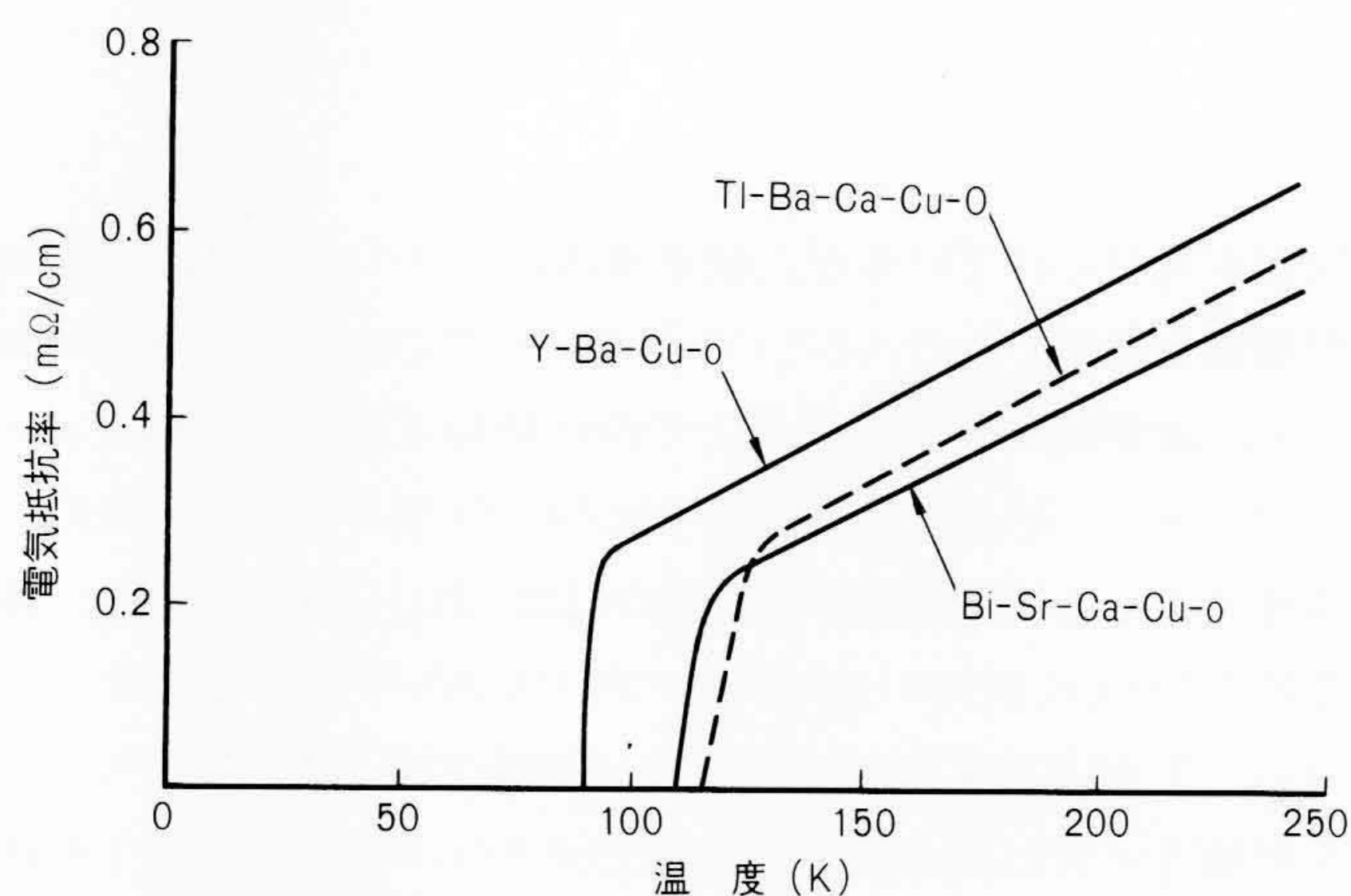


図1 高温超電導体薄膜の電気抵抗率-温度特性 Y系では T_c 90 K, Bi系では T_c 110 K, Tl系では T_c 115 Kである。

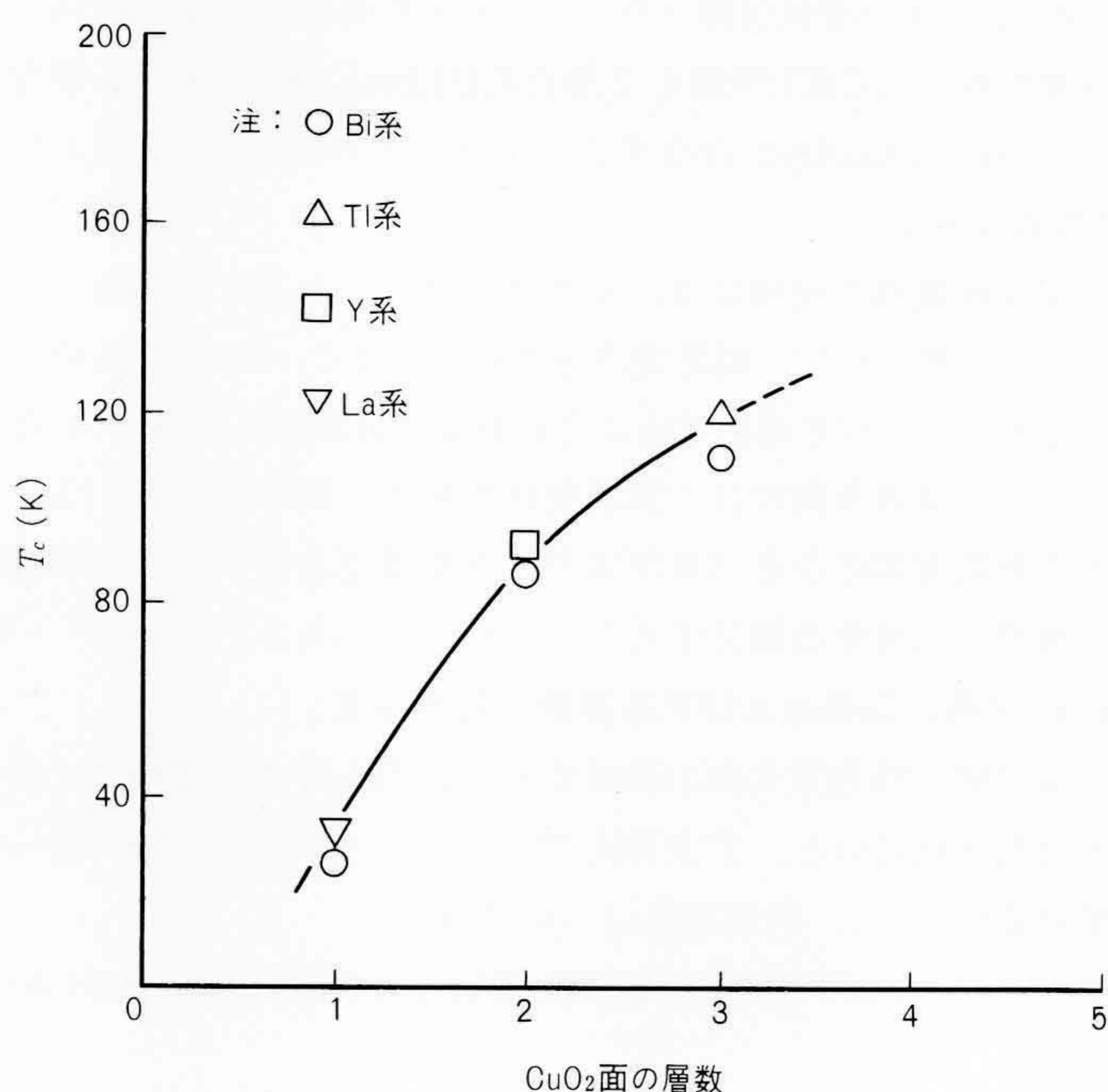


図2 臨界温度 T_c と CuO_2 面の層数の関係 単位格子当たりの CuO_2 面が多いと、 T_c が高くなる傾向が見られる。

長周期構造の酸化物の作製と、超電導を担う CuO_2 面の伝導キャリア数の最適化が困難であることから、現在のところ、より高い T_c の酸化物はまだ得られていない。薄膜の場合、膜の成長が2次元的であり層状成長しやすい。この特徴を生かして CuO_2 面の数が多い構造を人工的に作製し、さらに伝導キャリア数の最適化を行うといった薄膜作製からのアプローチは、今後の高 T_c 材料の探索に有力な方法となる。さらに、これは超電導メカニズム解明の点からも重要なことである。

2.3 高臨界温度のBi系薄膜

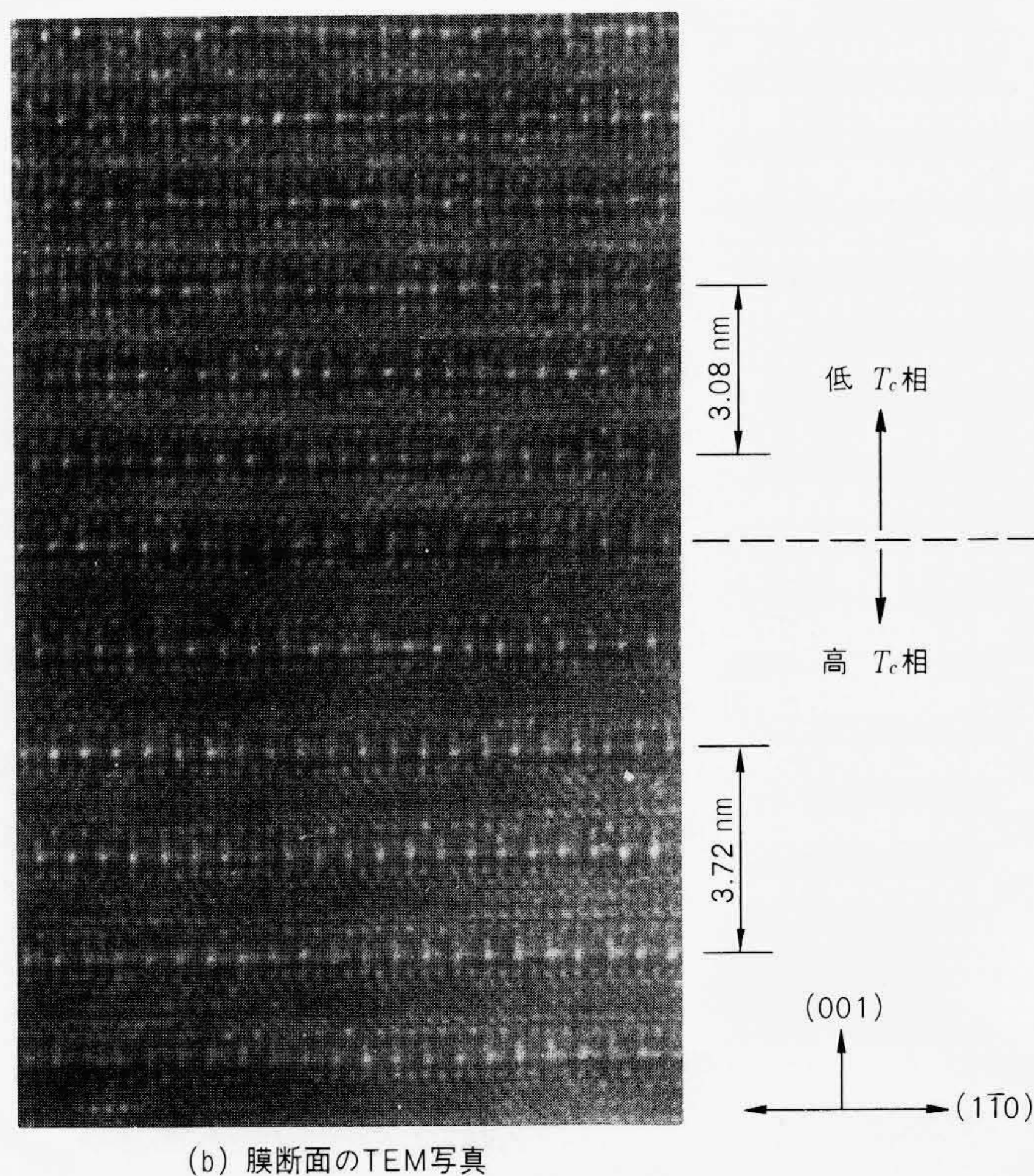
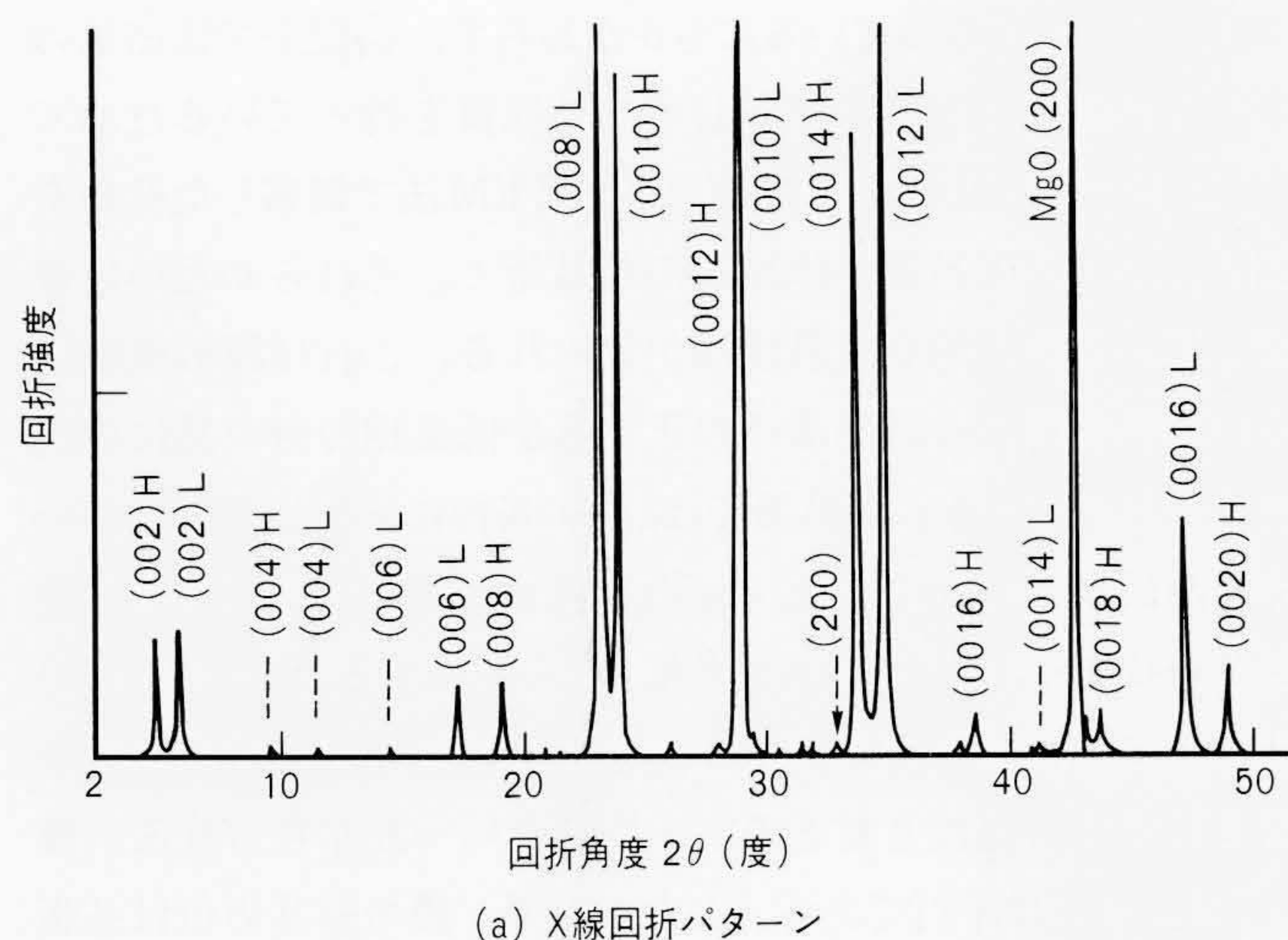
T_c が100 Kを超える材料としてBi系⁴⁾とTl系⁵⁾がある。Bi系薄膜について以下に述べる。Bi-Sr-Ca-Cu-O薄膜では、 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_2\text{O}_y$ (低 T_c 相)と $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ (高 T_c 相)の二つの結晶相が存在する。それらの T_c は85 Kと110 Kである。結晶構造はいずれも正方晶で、格子定数のa軸はいずれも0.54 nmであるが、低 T_c 相と高 T_c 相はc軸方向のわずかの積層のずれで生ずる。高 T_c 相のc軸は約3.7 nm, 低 T_c 相のc軸は約3.1 nmとわずかに異なっている。そのため、一つの結晶粒中に低 T_c 相と高 T_c 相が混在しやすい。薄膜の場合は、膜作製条件、膜組成、熱処理条件などによって T_c の値が変化しやすい。そこで、 T_c の異なる膜を用いて、膜の構造と T_c の関係について調べた⁷⁾。

スパッタリング法でMgO基板上に作製したBi系薄膜のX線回折パターンと、TEM(透過電子顕微鏡)による膜断面の写真を図3に示す。X線回折パターンから、結晶のc軸が基板面に垂直方向に優先成長した膜であること、および高 T_c 相からの回折ピーク(00l)H, (l=偶数)と低 T_c 相からの回折ピーク(00l)L, (l=偶数)の2種類が観測され、二つの結晶相が混在していることがわかる。この二つの相の混在は、TEM写真でも明らかのように、一つの結晶粒中に共存している。さらに、高 T_c 相でも格子定数はわずかに変化し、 T_c の値に影響を及ぼす。高 T_c 相の格子定数a, cと T_c の関係を図4に示す。同図から高 T_c 相のa軸およびc軸の長さが短いほど T_c が高くなり、 $a=0.541$ nm, $c=3.715$ nmのもっとも短いときに、 $T_c=110$ Kの高い値が得られた。また、膜の表面形態は板状の結晶が積み重なった構造になっており、 T_c の高い膜の結晶粒は T_c の低い膜の結晶粒に比べて大きく成長していた。しかし、 $T_c=110$ Kの膜でも膜中の高 T_c 相の割合は約50%であり、高 T_c 相だけの単相膜の形成が今後の課題である。

3 高臨界電流密度薄膜

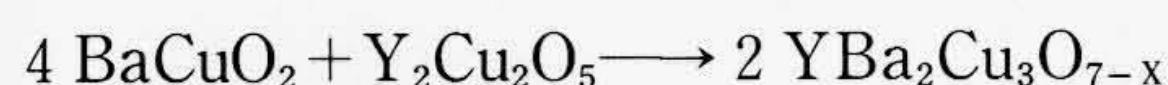
3.1 多結晶薄膜

大面積で簡便な超電導体薄膜の形成法として、室温の基板上に非晶質膜を形成し、次に高温で結晶化させるプロセスを開発した。室温のMgO基板上に、スパッタリング法で(Y, Cu, O)と(Ba, Cu, O)の多層膜を設け、次に900℃の酸素中熱処理により、次の化学反応で $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ 超電導体薄膜を作製した⁸⁾。



注：略語説明 TEM (透過電子顕微鏡)

図3 Bi系薄膜のX線回折パターンと膜断面のTEM(透過電子顕微鏡)写真 X線回折パターンおよびTEM写真のいずれでも、低 T_c 相と高 T_c 相が共存している。



基板としてはMgO, SrTiO₃, Al₂O₃, ZrO₂のいずれでもよい。作製した膜のSEM(走査電子顕微鏡)写真を図5に示す。基板に平行な板状微結晶体が多く見られる。板面に垂直な方位はペロブスカイト形構造のc軸である。薄膜が多結晶体になりやすいのは熱処理時、非晶質膜のいたところで超電導相の核発生があるためである。この膜は粒界の存在が明瞭(りょう)であるため、粒界部を超電導の弱結合にそのまま利用でき、高温酸化物超電導体薄膜の光照射に伴う超電導電流のスイッチング現象や、SQUID特性の早期確認に用いることができ

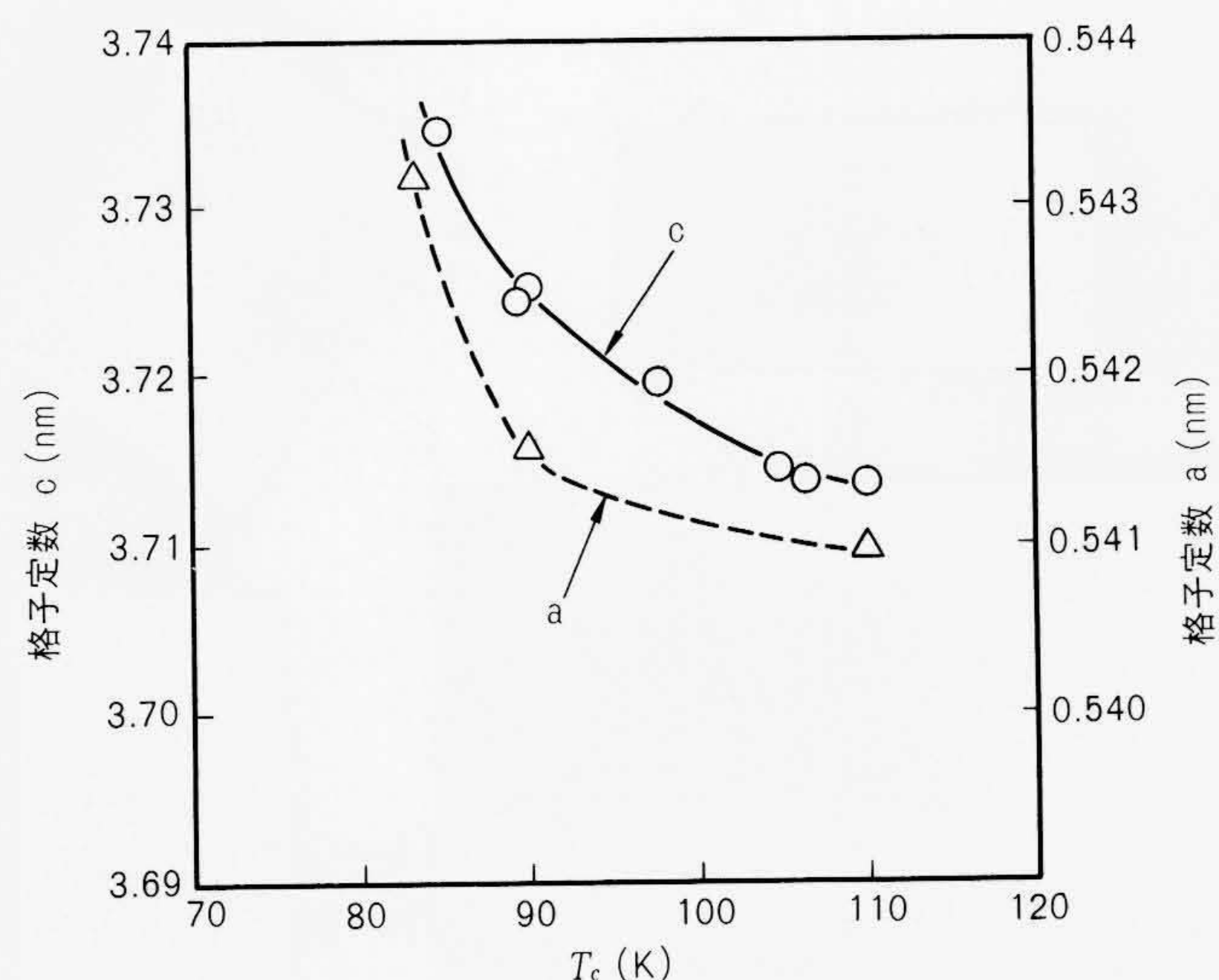


図4 高 T_c 相の格子定数と T_c の関係 a軸とc軸の長さが短いほど T_c が高くなる。

た⁹⁾。同種の薄膜は真空蒸着法でY, Ba, Cuの三元金属を積層蒸着し、これを酸素中で高温熱処理することでも作製できる¹⁰⁾。

3.2 単結晶薄膜

高温酸化物超電導体のペロブスカイト形構造を持ち、a軸、b軸、c軸の三方向のそろった単結晶状の薄膜は、成膜時、基板温度を高温に保ちながらゆっくり成長させることで得られる。スパッタリング法で、MgO(100)基板上に730℃の基板温度で膜を作製し、その後850℃の酸素中で熱処理したErBa₂Cu₃O_{7-x}膜のSEMによる表面形態と、RHEED(反射型高速電子線回折)による膜の方位決定の結果を図6に示す¹¹⁾。膜の表

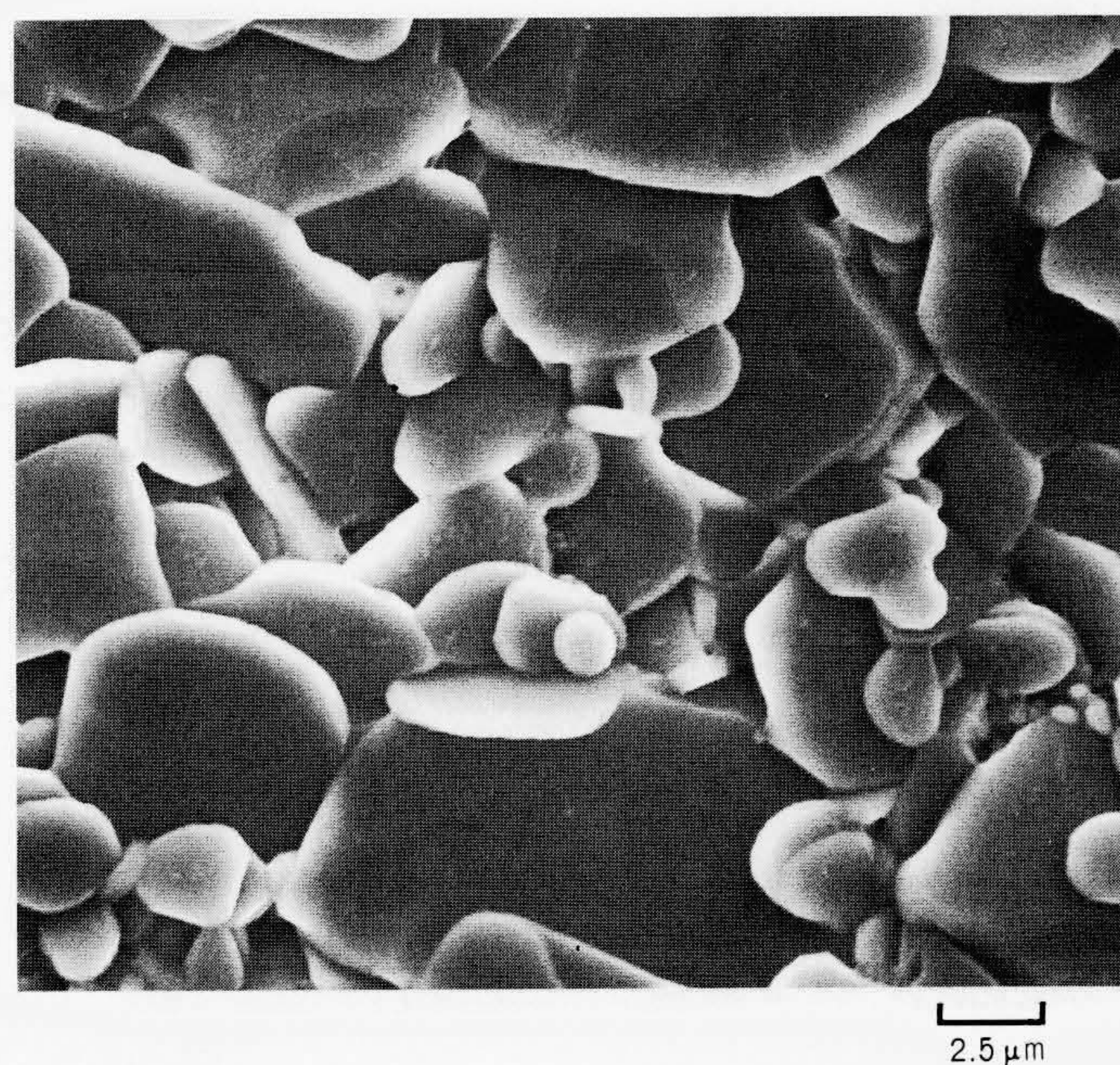


図5 多結晶薄膜のSEM(走査電子顕微鏡)写真 基板上に非晶質膜を形成し、高温で結晶化させた。

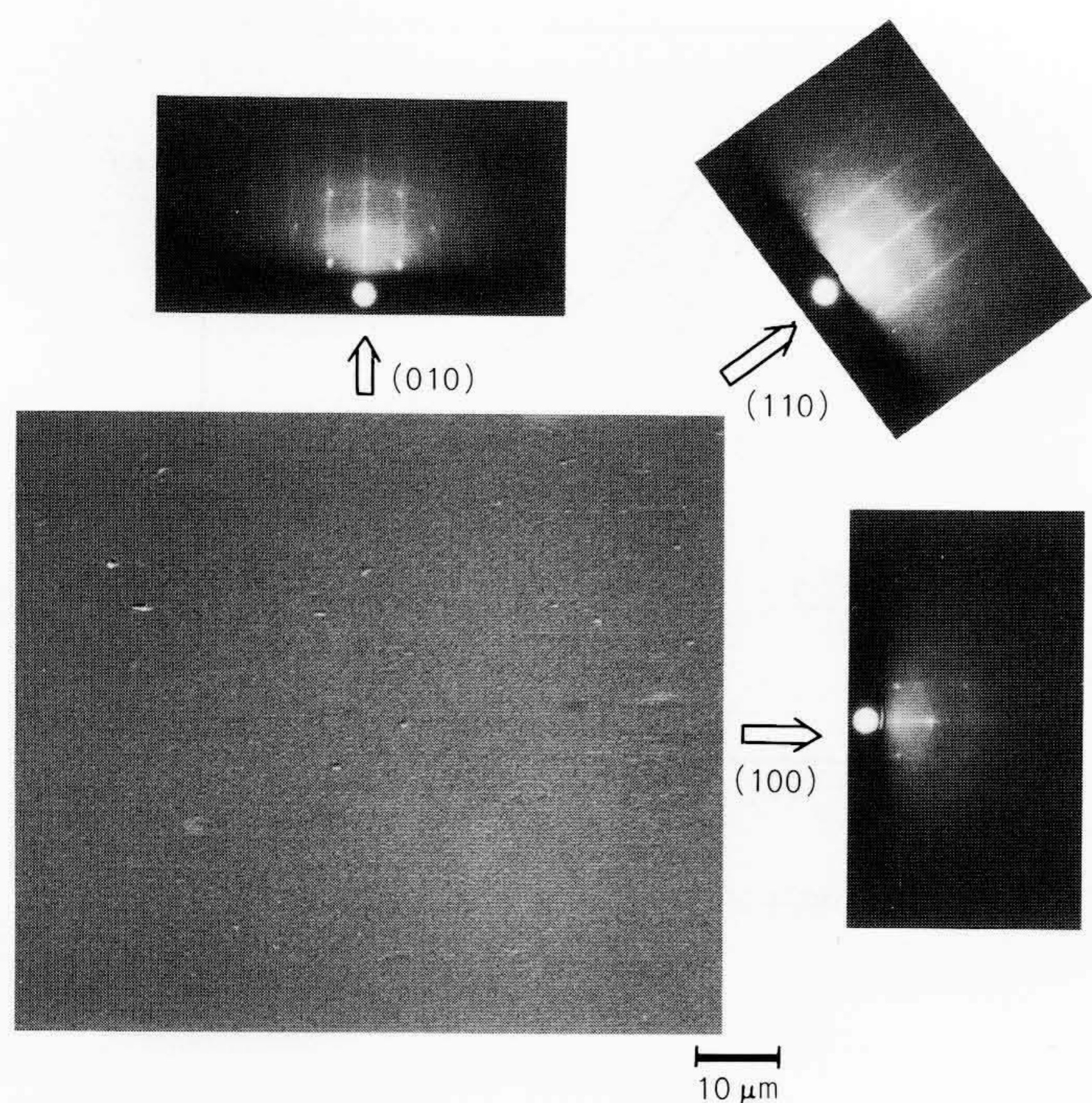
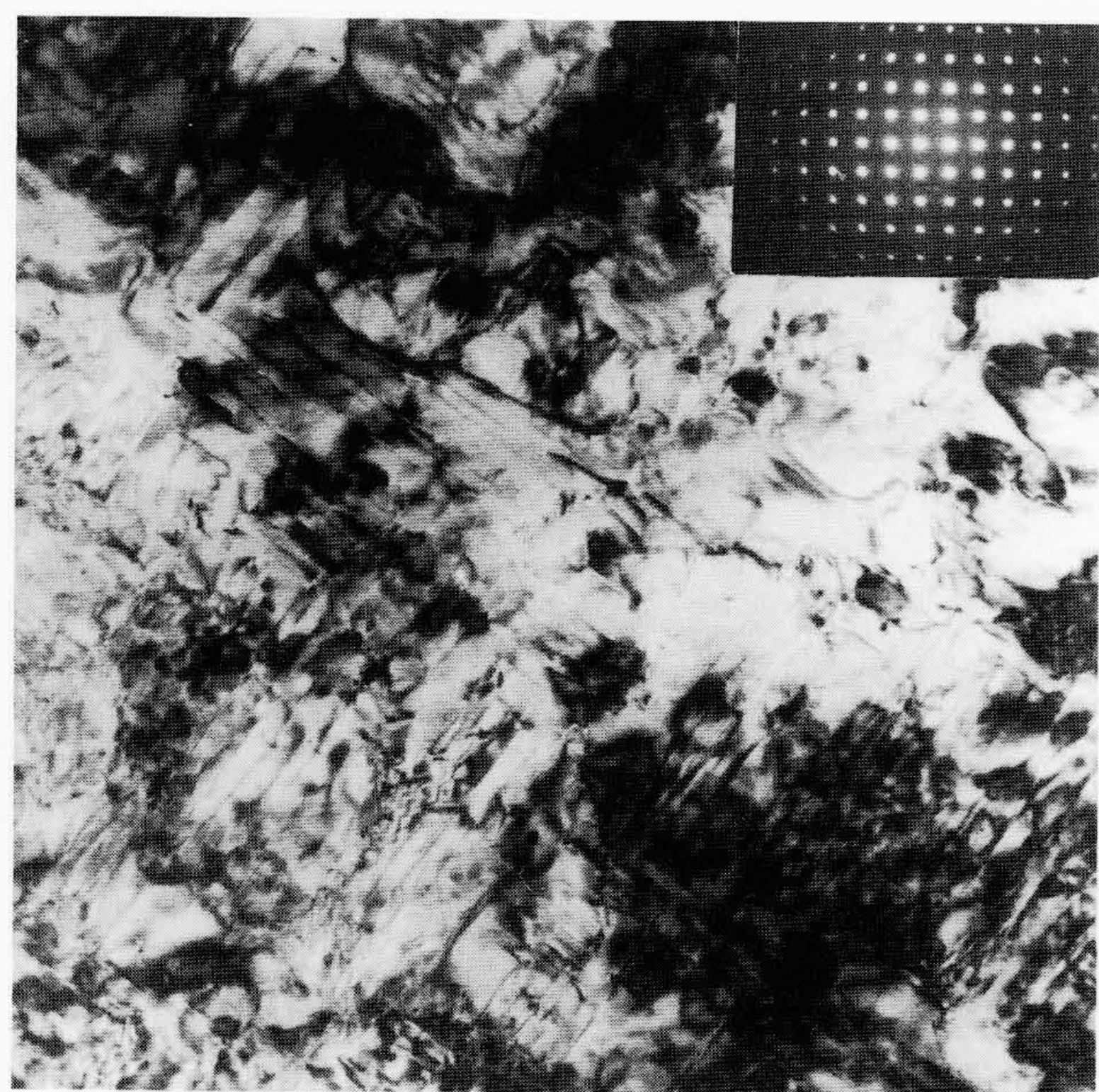


図6 単結晶状 $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ 膜のSEM像とRHEED(反射型高速電子線回折)パターン 膜表面は平滑で、膜の結晶方位は基板の方位と一致している。

面は非常に平滑であり、特に結晶粒界欠陥は見られない。RHEEDパターンでは膜表面の平滑性を示すストリークラインと、基板に垂直の $(00l)$ 面の回折スポットが見られる。膜の a 軸と b 軸の方向は MgO 基板の方向とも一致している。この方法で単結晶状の膜が得られるのは、 $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ の格子定数($a=0.389\text{nm}$, $b=0.383\text{nm}$, $c=1.17\text{nm}$)が MgO の値($a=0.43$

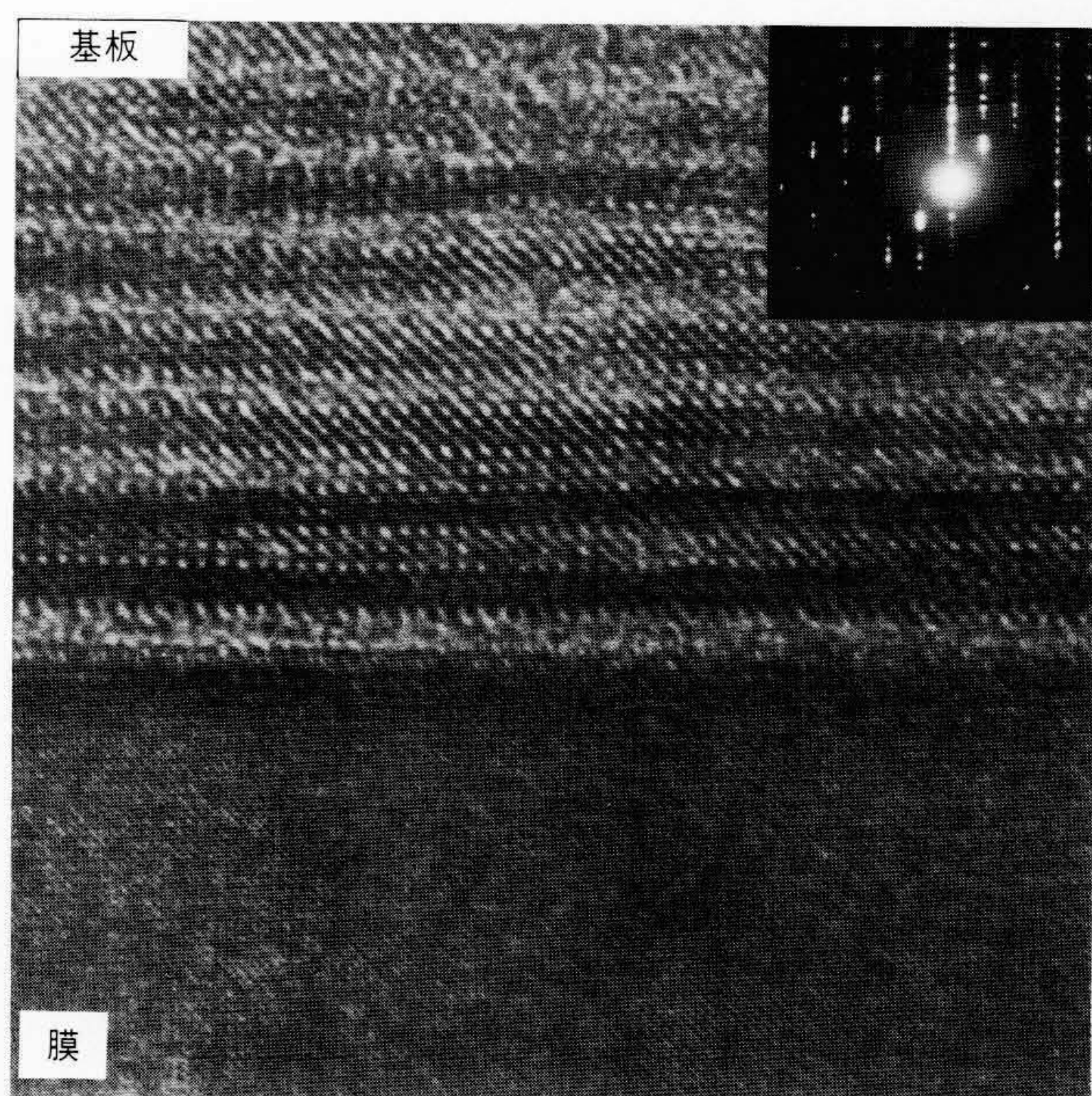
nm)と大きく異なっているにもかかわらず、高温下では結晶の3軸が高配向して結晶成長しやすい性質を持っているためである。膜平面 (001) と膜断面 (100) をTEM法で観察した結果を図7に示す。 (001) 面には線状の双晶帯と、それらが互いに直交している典型的な双晶模様が見られる。これは膜形成時あるいは熱処理時に、高温相の正方晶が低温相の斜方晶に相変態するためである。 (100) 面では c 面が基板に平行に発達しているのが観察される。一方、 SrTiO_3 基板では膜と基板の格子定数が一致するので、膜はエピタキシャル成長する。 $\text{SrTiO}_3(110)$ 基板上に成長した $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ 膜の膜断面 (110) のTEM像を図8に示す。基板と膜との格子像の良い一致が見られる。膜の c 軸は基板に平行である。したがって、膜の結晶方位は基板方位を選択することで任意に制御することが可能である。

$\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ 膜の臨界電流密度 J_c の温度依存性は、多結晶薄膜と比較して図9に示す。 J_c は $5\text{mm} \times 3\text{mm}$ の試験片に4端子の Ag 電極を設け、 $1\mu\text{V}$ の電圧発生時の電流を薄膜の断面積で割って算出してある。多結晶薄膜の J_c は同図(a)に示すように、 77K で 10^2A/cm^2 の低い値であるが、単結晶状の膜では同図(b)に示すように、 $10^5 \sim 10^6\text{A/cm}^2$ の高い値が得られる。もっとも高い値は $2 \times 10^6\text{A/cm}^2$ であった。これは、これまで報告されている最高値に近い値である¹²⁾。しかし、膜形成が最適条件からずれると、 J_c の低い膜($10^2 \sim 10^3\text{A/cm}^2$)が生成する。高 J_c 膜と低 J_c 膜をX線的に識別するのは難しいが、電子顕微鏡による微細構造観察では違いが見られる。低 J_c 膜の平面TEM像を図10に示す。膜には双晶模様と多数の粒界欠陥が見られる。双晶と粒界の線状欠陥部の格子像を図11に示す。双晶部は格子像のつながりが良いのに対して、粒界部には 3nm 前後の格



(a) 膜平面 (001)

0.2 μm



(b) 膜断面 (100)

2 nm

図7 $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ 膜のTEM写真 膜の $(00l)$ 面は $\text{MgO}(100)$ 基板に平行で、多数の双晶欠陥を含んでいる。

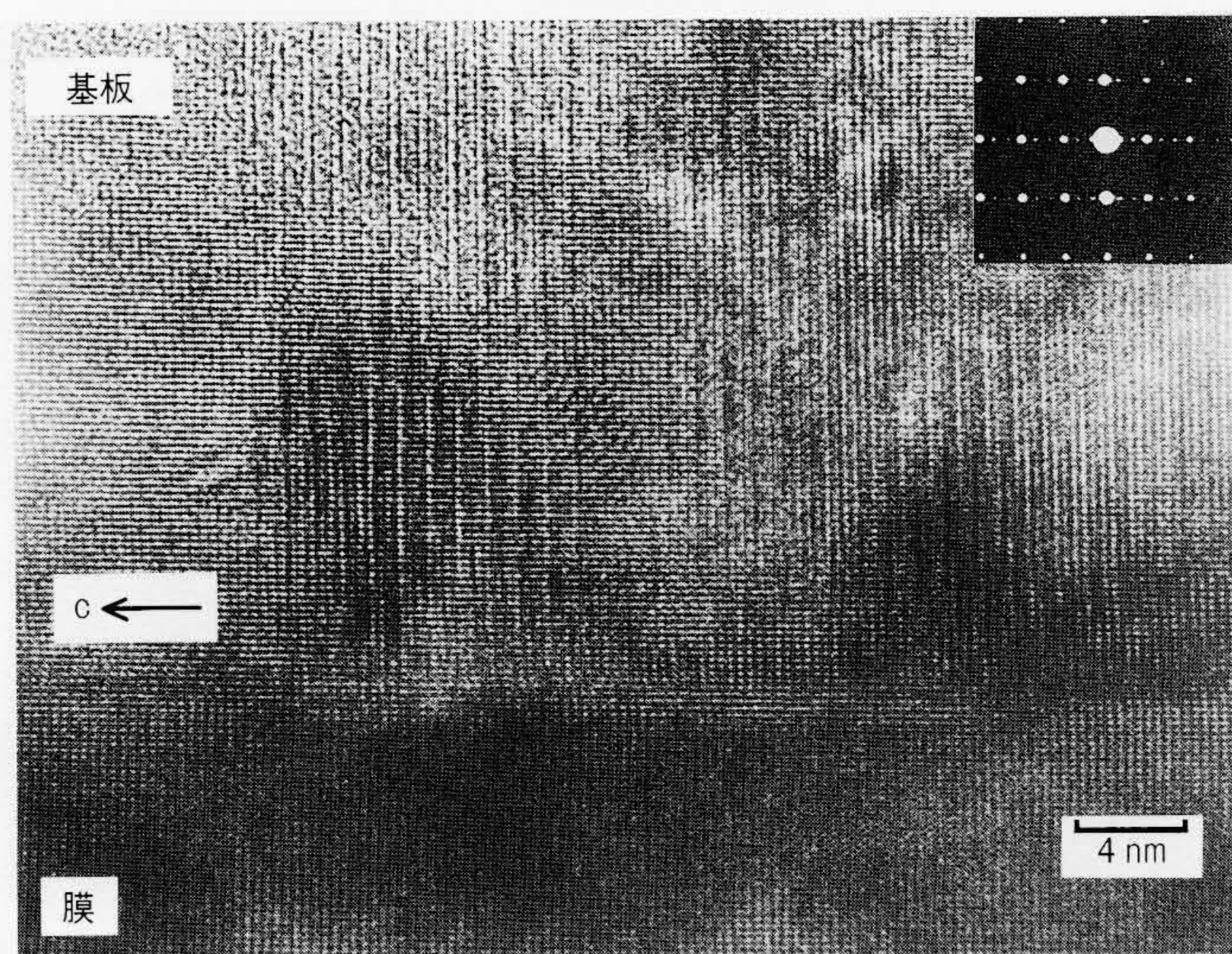


図8 YBa₂Cu₃O_{7-x}膜のTEM写真 基板はSrTiO₃(110)である。膜と基板の格子像は一致し、膜のc軸は基板に平行である。

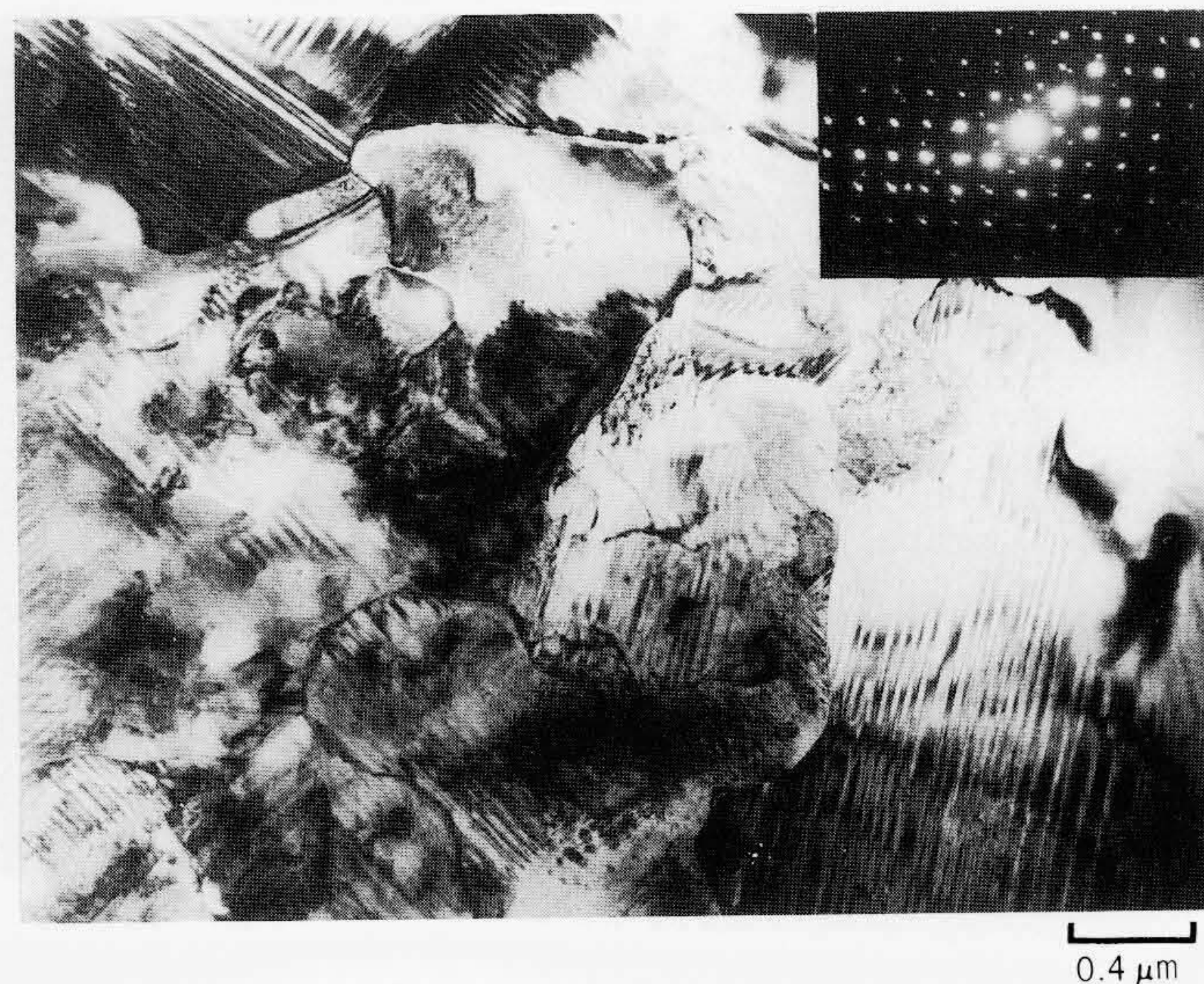


図10 低 J_c 膜のTEM写真 双晶欠陥のほかに、多数の粒界欠陥が見られる。

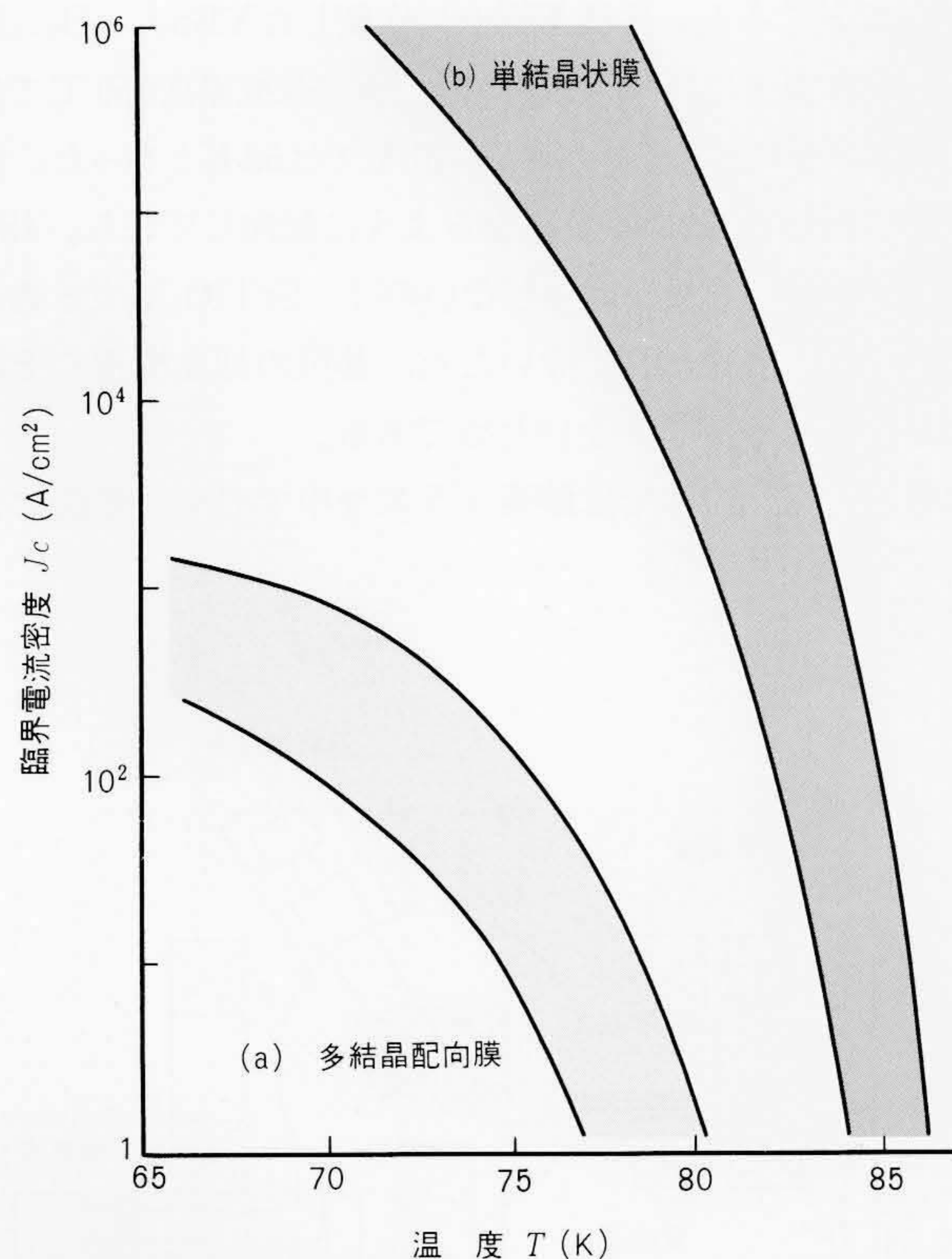


図9 臨界電流密度 J_c の温度依存性 (a)は多結晶配向膜、(b)は膜の結晶軸がそろった単結晶状膜の特性を示す。

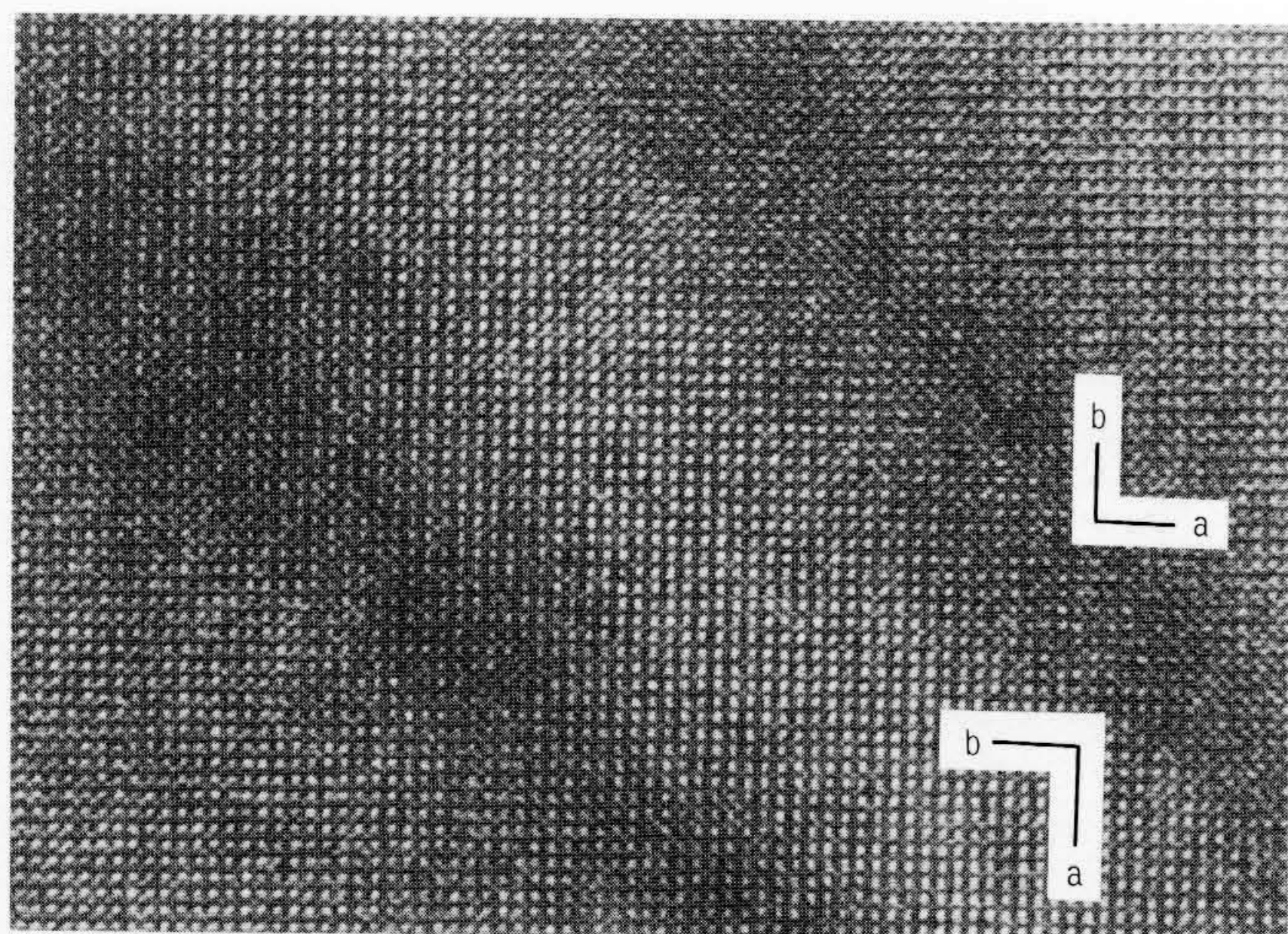
子の乱れがある。高温酸化物超電導体のコヒーレンス長はc軸に平行方向で0.5 nm、垂直方向で3 nmと非常に短いので、超電導電流は粒界部で弱められるものと推察される。したがって、高 J_c 膜の作製には高品位膜の作製が不可欠である。

臨界電流密度 J_c に及ぼす外部磁場の影響を調べた結果を図12に示す。薄膜はc軸がMgO(100)基板に垂直のErBa₂Cu₃

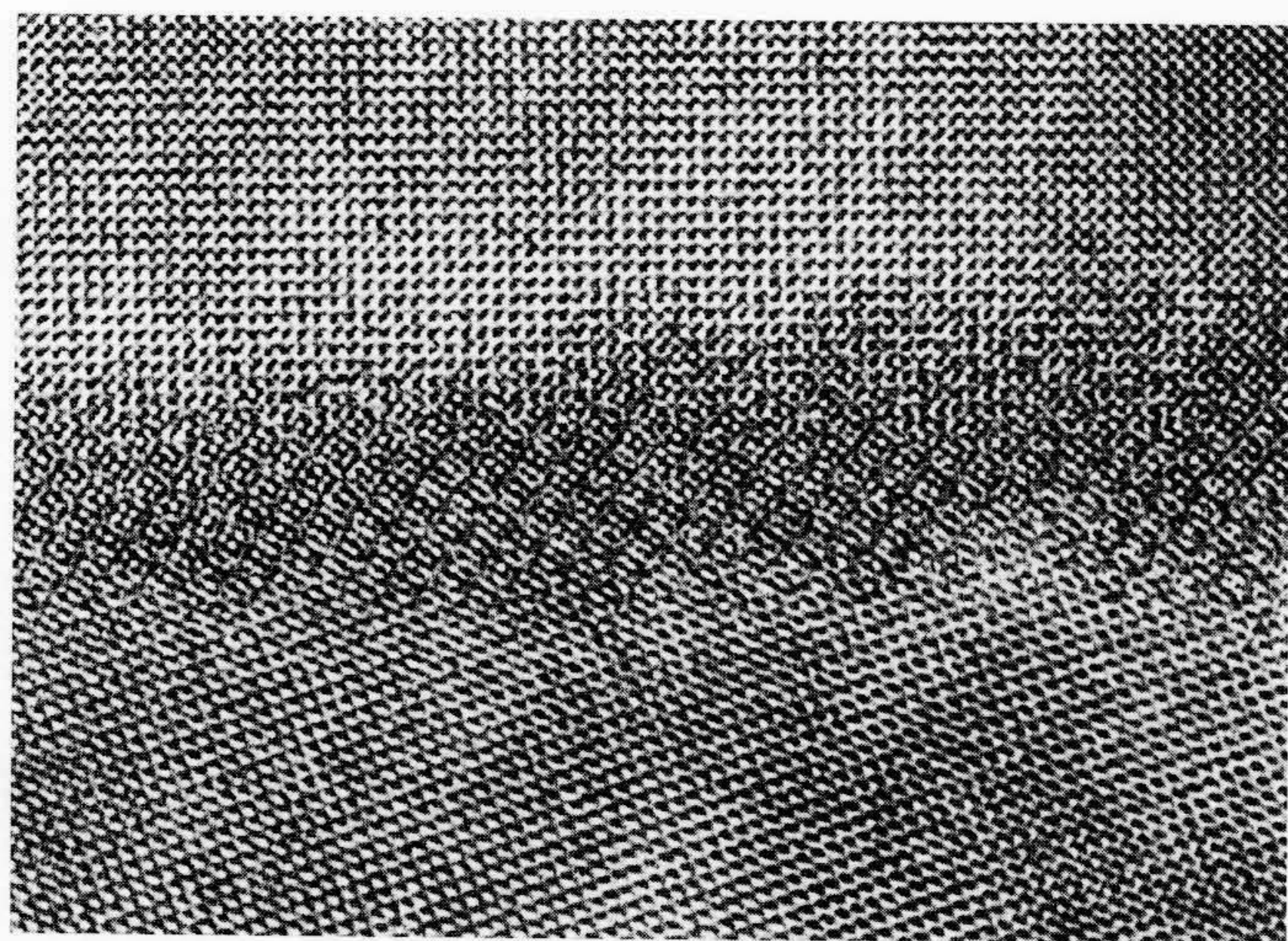
O_{7-x}膜(001)とc軸がSrTiO₃(110)基板に平行のYBa₂Cu₃O_{7-x}膜(110)を用いた。いずれの場合も、 J_c は磁場をc軸に平行に加えた場合、大きく低下する。したがって、これは薄膜の形状に起因する異方性でなく、酸化物超電導体固有の2次元伝導性を反映している。本材料はコヒーレンス長が短く、伝導に寄与する正孔もc面のCuO₂伝導面に局在している第二種超電導体である。そのため、磁場をc軸に平行に加えた場合、遮へい電流が伝導面内に誘起され、伝導面を貫通した磁束が動きやすいことが原因して J_c の低下を生じる。一方、磁場がc軸に垂直の場合、遮へい電流が誘起されにくく、貫通した磁束も伝導面でピンニングされるため、 J_c の低下が少ないものと思われる。したがって、高温酸化物超電導体薄膜の伝導特性の制御には2次元伝導性を考慮した結晶方位の制御技術が必要である。

4 薄膜形成の低温化

低温プロセスでの理想的な膜成長過程は、構成金属原子が基板表面に酸化されずに到達し、表面を速く拡散して所定のサイトに収まった後、活性な酸素と酸化反応を伴いながら結合し、高酸化状態の膜を形成することにある。この観点から、図13に示すマイクロ波酸素プラズマ反応性蒸着装置を作製した¹³⁾。装置の特長は、(1)プラズマに $10^{-2} \sim 10^{-3}$ Paの低酸素圧で発生するマイクロ波酸素プラズマの採用、(2)差動排気で蒸発室の真空度の向上、(3)三元金属の同時蒸着と蒸着速度の制御、(4)加熱回転基板の採用による組成と膜厚の均一化、が挙げられる。マイクロ波酸素プラズマの酸化力は、Cuの蒸着を室温で 1×10^{-2} Paの中性酸素中で行ったとき、薄膜は金属Cuの構造をとるが、同じ酸素分圧のプラズマ中ではCuO酸



(a) 双晶部



(b) 粒界部

図11 双晶境界と粒界部の格子像観察 格子像の間隔は0.38 nmである。双晶部は格子のつながりが良いが、粒界部には大きな乱れがある。

化膜になることで確認した。また成膜後、プラズマ中で徐冷することで、膜内への酸素供給も図ることができる。

SrTiO₃(110)基板上に作製したYBa₂Cu₃O_{7-x}膜の電気抵抗の温度依存性を図14に示す。膜は基板と同様に、[110]方向が基板面に垂直である。基板温度が450℃と510℃の膜の抵抗は温度低下とともに減少する金属的伝導を示し、 T_c はそれぞれ

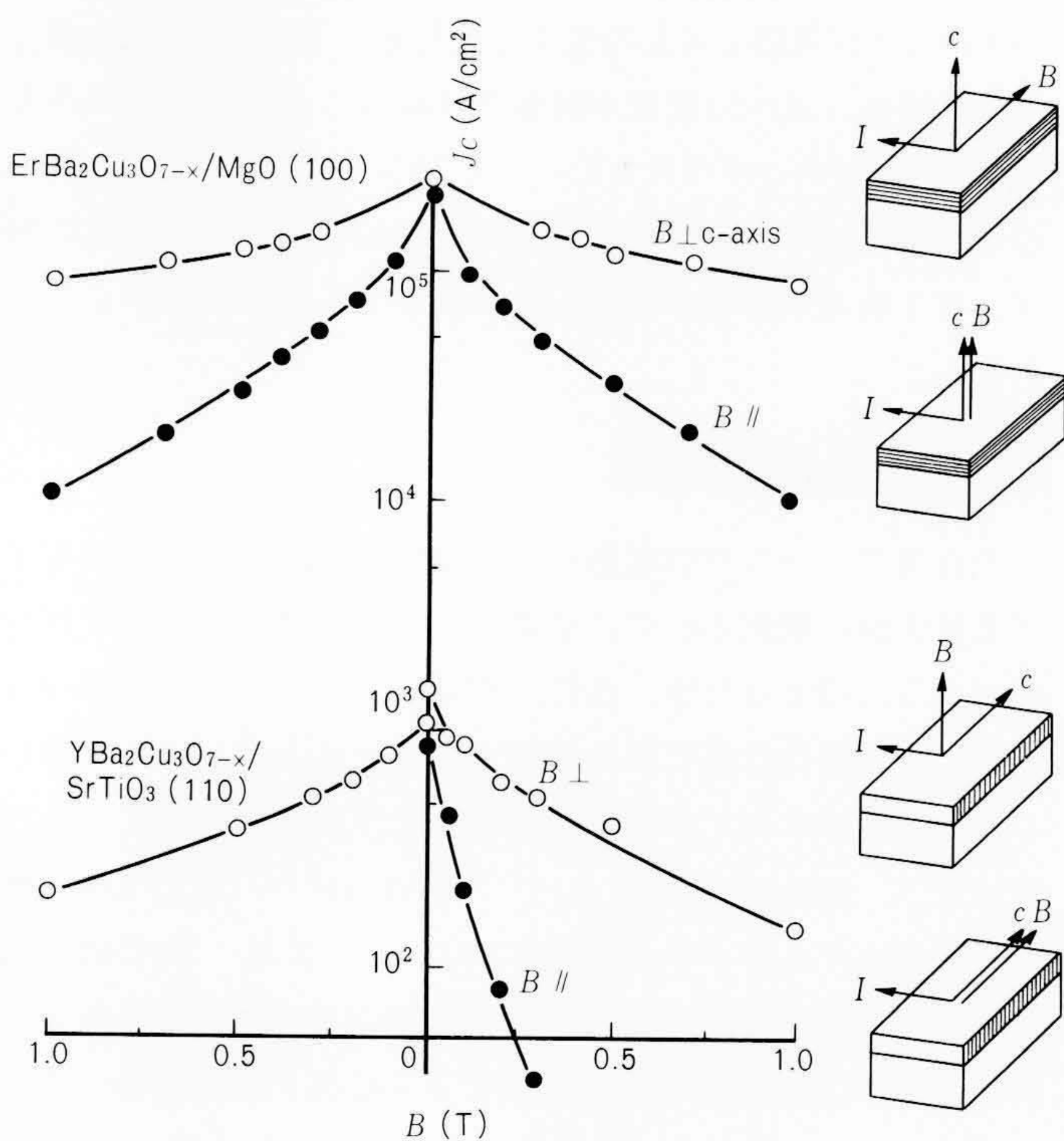


図12 臨界電流密度に及ぼす外部磁場と結晶学的異方性の影響 J_c の劣化には結晶学的異方性が強く見られる。これは本材料の2次元伝導性を反映している。

83 Kと87 Kである。各種基板上に作製したYBa₂Cu₃O_{7-x}膜の臨界温度を表1に示す。Si基板の場合、基板温度450℃では超電導を示さないが、基板温度が510℃では63 Kとなった。膜は基板面に対してc軸が垂直になるように配向している。450℃では結晶性の良い膜が成長しないのは、SrTiO₃基板と異なり格子定数の整合性が良くないため、基板の結晶構造をそのまま引き継ぐことができないためである。

成膜の低温化の点では酸素プラズマ中でのレーザ法による

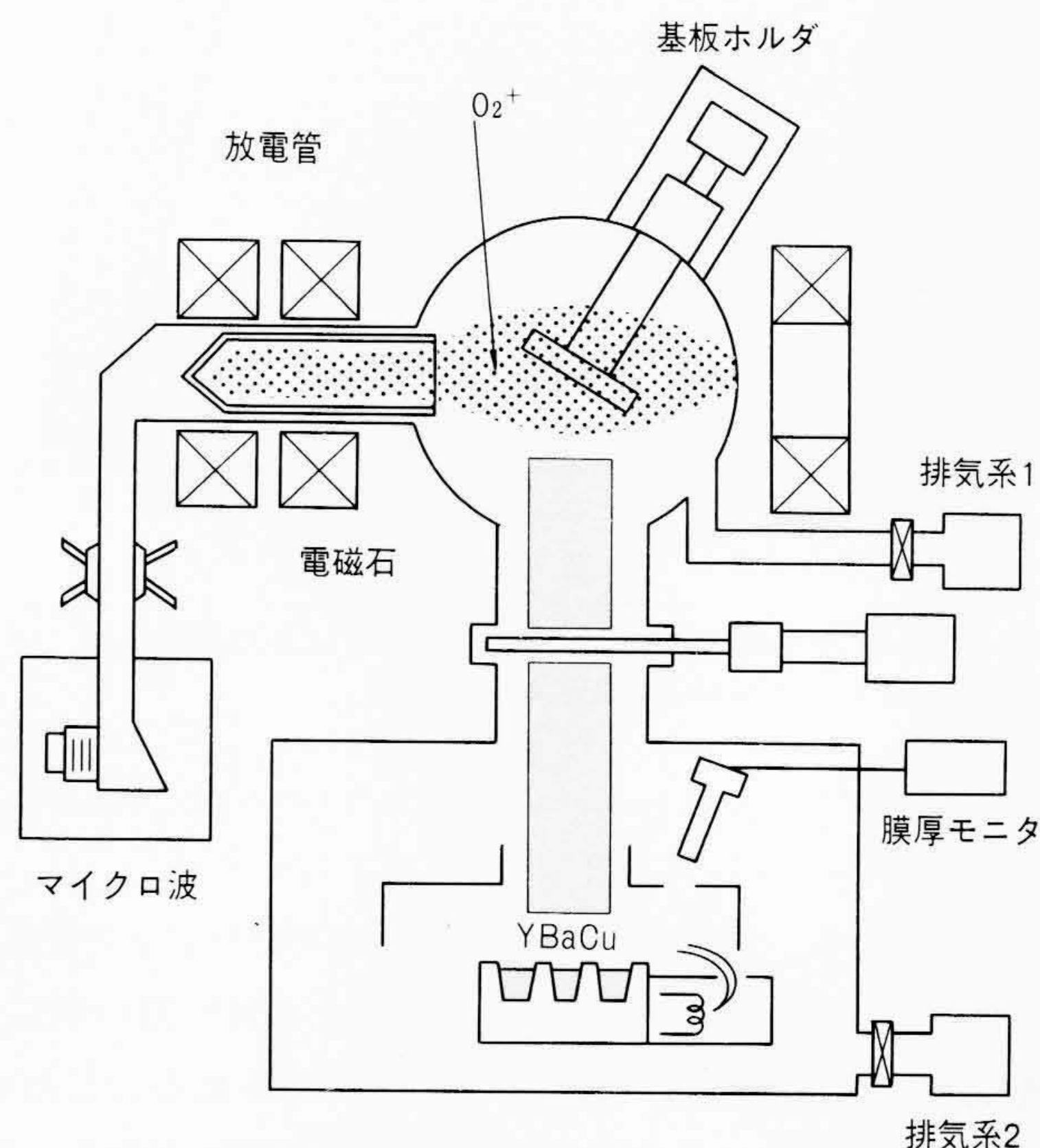


図13 マイクロ波酸素プラズマ反応性蒸着装置 基板上で、多元の金属流と活性な酸素プラズマを反応させながら、膜成長を行うことに特長がある。

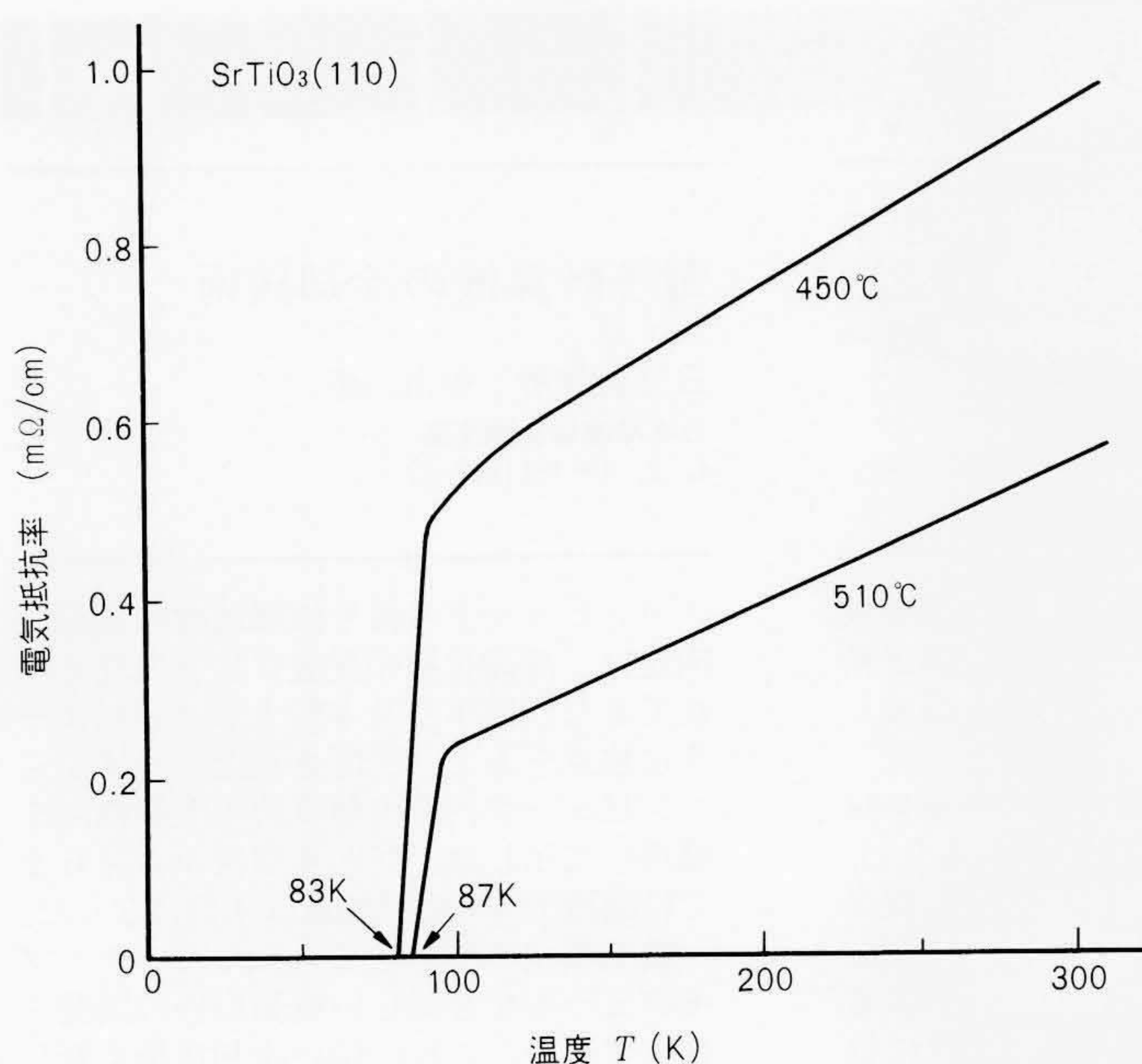


図14 YBa₂Cu₃O_{7-x}膜の電気抵抗の温度依存性 基板はSrTiO₃(110)である。

表1 各種基板上的YBa₂Cu₃O_{7-x}膜の臨界温度 超電導体薄膜は450～500℃の基板温度で得られる。

基板材料	面方位	基板温度(℃)	膜の面方位	臨界温度(K)
SrTiO ₃	(110)	450	(110)	83
SrTiO ₃	(110)	510	(110)	87
MgO	(100)	450	(001)	23
MgO	(100)	510	(001)	80
Si	(100)	450	(001)	4.2
Si	(100)	510	(001)	63

金属の蒸着¹⁴⁾, RF(Radio Frequency)酸素プラズマ中での電子ビームとKセルによる金属蒸着¹⁵⁾で400～600℃の低温化が報告されている。本稿の成膜温度はこれらとほぼ同程度の値である。しかし, 低温プロセスは熱エネルギーの力を活用できにくくなるので, 結晶化の点で不利である。結晶成長技術のよりいっそうの高度化と高 T_c のBi系化合物への展開が今後の課題である。

5 結 言

高温酸化物超電導体の薄膜作製と伝導特性の評価を行った。臨界温度 T_c はY系酸化物で90 K, Bi系酸化物で110 K, Tl系酸化物で115 Kを達成した。Bi系酸化物では, 85 Kの低 T_c 相と110 Kの高 T_c 相が一つの結晶粒の中に混在していた。臨界電流密度 J_c は, 結晶欠陥と結晶方位の制御で77 Kで 2×10^6 A/cm²を達成した。超電導電流は双晶欠陥よりも粒界欠陥で強く影響を受ける。 J_c に及ぼす磁場の影響では本材料の

2次元伝導性が確認された。薄膜プロセスの低温化に関しては, 有磁場マイクロ波酸素プラズマで励起する新しい反応性蒸着装置を開発し, 450℃の低温で膜作製を達成した。今後の課題は, (1) Bi系化合物の高 T_c 相の単相化, (2) 薄膜手法による高 T_c 材料の探索, (3) 低温プロセス法で高品質膜の形成, (4) 各種デバイスへの適用, などがある。

参考文献

- 1) J. G. Bednorz, et al.: Possible High T_c Superconductivity in the Ba-La-Cu-O System, Z. Phys. B, 64, 189～193(1986)
- 2) 田口: 高温酸化物超電導配線, 日経エレクトロニクス, 11, 153～164(1987)
- 3) 北沢, 外: 酸化物高温超電導体の構造と物性, 応用物理, 51, 1644～1655(1988)
- 4) H. Maeda, et al.: A New High T_c Oxide Superconductor without Rare Earth Element, Jpn. J. Appl. Phys. 27, L 209～211(1988)
- 5) Z. Z. Sheng, et al.: Superconductivity in the Rare Earth Free Tl-Ba-Cu-O System above Liquid Nitrogen Temperature, Nature 332, 55～58(1988)
- 6) K. Kitazawa, et al.: Advances in Superconductivity, Springer-Verlag, Tokyo(1988)
- 7) Y. Kozono, et al.: Lattice Parameters and Surface Morphology of High- T_c Phase in Bi-Sr-Ca-Cu-O Superconducting Thin Films, Jpn. J. Appl. Phys. 28, L646～649(1989)
- 8) T. Aida, et al.: Preparation of YBa₂Cu₃O_{7-x} Superconducting Thin Films by RF-Magnetron Sputtering: Jpn. J. Appl. Phys. 26, L1481～1491(1987)
- 9) H. Nakane, et al.: DC SQUID using High Critical Temperature Oxide Superconductors, Jpn. J. Appl. Phys. 26, L1581(1987)
- 10) M. Futamoto, et al.: Preparation of YBa₂Cu₃O_{7-x} Thin Films by Heat Oxidation of Vacuum-deposited Multi-layer Metallic Films, Jpn. J. Appl. Phys. 27, L73～76(1988)
- 11) T. Aida, et al.: Microstructures and Superconductivities of LnBa₂Cu₃O_{7-x} Thin Films, in ref. 6), 593～598(1988)
- 12) S. Tanaka, et al.: High J_c Superconducting Crystalline HoBaCuO Thin Films by Sputtering: Jpn. J. Appl. Phys. 27, L622～624(1988)
- 13) T. Aida, et al.: Thin Film Growth of YBa₂Cu₃O_{7-x} by ECR Oxygen Plasma Assisted Reactive Evaporation, Jpn. J. Appl. Phys. 28, L635～638(1989)
- 14) S. Witanachchi, et al.: Deposition of Superconducting Y-Ba-Cu-O films at 400℃ without Postannealing, Appl. Phys. Lett. 53, 234～236(1988)
- 15) T. Terashima, et al.: Single Crystal YBa₂Cu₃O_{7-x} Thin Films by Activated Reactive Evaporation, Jpn. J. Appl. Phys. 27, L91～93(1988)

光メモリ

日立製作所 角田義人
電気学会誌 100周年記念号
(昭63-10)

情報化社会の急速な発展の中で、大容量で高速検索可能な新しいファイルメモリとして、光ディスクを中心とする光メモリが注目を集めている。現在光メモリは、再生専用形、追記形がすでに製品化され、書換可能形も実用化に入りつつある。主な応用分野としては、コードデータのアーカイバルファイル、イメージファイル、マルチメディアファイルがある。いずれも光メモリの大容量性、媒体可換性、長期保存性を十分に活用するものである。次世代の高性能光メモリに向けた技術課題に対する研究も活発に行われている。高速高密度記録技術、高速オーバーライト技術、超小形光ヘッド技術など、数々の挑戦的な課題が各所で研究されつつある。21世紀には計算機の外部記憶階層が超大形化し、巨大データベースの出現が予想される。光メモリが中心的に用いられることになるであろう。

縮小投影露光装置用合わせマークの高精度検出法(第1報)
—4波長光照明による干渉の低減—

日立製作所 秋山伸幸
精密工学会誌
54, 10, 1963~1968(1988-10)

半導体パターン形成に使用する縮小投影露光装置用合わせマークの位置検出精度の向上を目的として、検出法を提案し解析した。

合わせマーク上に塗布されているレジストの厚さは局部的に非対称となるため、検出精度が低下する問題があった。従来の単波長レーザ照明に代わり、波長差が等しい4種のレーザ光の同時照射による干渉の低減法を提案した。実用的にはHe-Neレーザ光(543 nm)とArレーザ(515 nm, 488 nm, 458 nm)でよいことを示し、このときのレジスト内干渉の影響低減効果を理論解析とシミュレーションにより求め、実験によって検出精度を求めた。

その結果、レジスト厚さ非対称性が0.08 μm の場合でも、 $\pm 0.04 \mu\text{m}$ (従来は $\pm 0.2 \mu\text{m}$)の精度を得ることに成功し、次世代LSIの高精度露光への道を開いた。

電子計算機の冷却技術

日立製作所 中山 恒
日本冷凍協会論文集
4, 2, 1~13(1987-2)

コンピュータの信号処理速度の急速な向上は、冷却技術の発展によって支えられてきた。近年の日本製大形コンピュータに焦点をあて、公開されたデータからコンピュータ内部の熱負荷の上昇傾向を整理して示した。1980年前後から今日までに論理チップの発熱量は4倍になった。

高集積化の要求はさらにマルチチップモジュールなど新しい実装形態の開発を促しており、これに伴い冷却技術も新しい展開を見せ始めている。空冷、液冷技術の概観と合わせ、計算機室の空気調和も含めたシステム熱管理の重要性を訴えている。