

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 19 日現在

機関番号：17701

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23360139

研究課題名(和文)(Cu, C)系積層構造を用いた高臨界温度・レアアースレス超伝導薄膜材料の創成

研究課題名(英文)Development of High Temperature and Rare-Earth Less Superconducting Thin Films by Controlling (Cu, C)-based Artificial Multi-layer Structure

研究代表者

寺田 教男 (TERADA, NORIO)

鹿児島大学・理工学研究科・教授

研究者番号：20322323

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,000,000円、(間接経費) 4,500,000円

研究成果の概要(和文)：独自に見出した低成長温度・レアアースレス等の特徴を持つ(Cu, C)-1201極薄膜の超伝導発現機構を検討し、ヘテロ界面歪効果が重要なことを確定するとともに、歪みエピタキシャル成長する類縁物質を1201層の上下に挿入し両界面の格子不整合を制御することで特性向上を達成した。この積層の人為的繰り返しは単位幅当たりの臨界電流密度向上の有望な手法として位置づけられる。また、全元素同時堆積法による薄膜においても超伝導発現に成功し、実用的作成法の端緒を開くことに成功した。以上より、人工積層構造の制御により、無毒性元素・レアアースレス高温超伝導薄膜材料の創成、形成基盤技術確立という目的を達成したと考える。

研究成果の概要(英文)：The investigation of structural origin and the development of practical growth technique of the (Cu, C)-1201 rare-earth element free, superconducting films have been performed. The compressive interfacial strain at the top and bottom of the 1201 layer is a dominant factor for the emergence of superconductivity, which is optimized by controlling thickness of the over- and under-layers grown in the strained epitaxial-mode. The optimization yields an emergence of superconductivity on the ultra-thin 1201 layer. The repeating growth of this layered structure is a promising method for improving the critical current density per unit width. The emergence of superconductivity has been also confirmed on the films grown by the co-deposition of all of the constituents. As mentioned above, the fundamentals for the growth of the rare-earth free superconducting film and the foothold for practical growth techniques are established, which means the objective of this research is successfully achieved.

研究分野：電気電子工学

科研費の分科・細目：電気・電子材料(半導体、誘電体、磁性体、超誘電体、有機物、絶縁体、超伝導体など)

キーワード：超伝導材料・素子 表面・界面物性 薄膜 強相関エレクトロニクス 量子エレクトロニクス レアアース・レス

1. 研究開始当初の背景

超伝導デバイスは超高選択比フィルタ、超高速論理素子、量子計算用素子など、その高度且つ独自のポテンシャルから次世代の基幹デバイスの一つと見なされている。低温超伝導回路では高速動作が検証されつつあるが応用には半導体回路との連携が必要であり、両者間の温度・電圧レベルのギャップを埋める回路の導入が望ましいとされている。超伝導臨界温度・エネルギーギャップ等の基礎物性に優れる高温超伝導材料を利用できれば、動作温度・周波数の上限の大幅な向上等により、応用の高度化、経済的制約の大幅な緩和が期待される。申請者らは高温超伝導層/低温超伝導層の高強度超伝導接続手法、集積化に適する積層型高温超伝導ジョセフソン接合の再現性の良い作製手法を、独自の超伝導膜の高度な作製技術、界面構造・電子状態の評価・制御手法を活用することにより実現してきた。

しかしながら、現在、高温超伝導応用は限定された分野にとどまっている。その主因は、薄膜形成温度が700~900℃と高いこと、コヒーレンス長が異方的且つ極めて短く極限的の微細加工が必要なこと、高温で応用可能な材料はHg, Tl等の毒性元素あるいはレアアース・レアメタルを含み社会的受容性・資源確保の面で懸念材料があることにある。実際、YBa₂Cu₃O₇ (YBCO)は線材、回路応用に適するとされる材料であるが、レアアースであるYを含むとともに、集積化に適するc-軸配向YBCO膜は700℃を越える成長温度が必要であること、積層型ジョセフソン接合で申請者らが行った実験でも、特性均一化にはバリア層厚分散を単原子レベルに抑制することが必須であるにも拘らず、高い成長温度が障害となった。これらは本格的応用の阻害要因となっており、高いT_c、低い超伝導異方性を有するとともに、低温成長が可能で、レアアース・レアメタル・毒性元素を含まず、且つ極限的の微細加工無しで高度なデバイス機能を発現可能な電子構造を持つ超伝導薄膜材料の開発が切望されてきた。

申請者らは、多層構造高温超伝導体における単位胞内キャリア分布制御手法を開発することでTl-1223系において133 Kを越える最高レベルの臨界温度を実現するとともに、この系と同型構造で電荷供給層にCuを含む無限層構造M₂CuO₂の多層構造(Cu, C)Ba₂Ca_{n-1}Cu_nO_x [(Cu, C)-12(n-1)n]等が高い臨界温度を有すること、多成分超伝導の発現可能性のあることを指摘してきた。

これらの知見に基づき実施した科学研究費補助金による研究において、(Cu, C)Ba₂CuO_{2±d} [(Cu, C)-1201]系パルスレーザー堆積薄膜が1) 480~520℃程度と高温超伝導膜として顕著に低い成長温度・as-grownで、単位胞内にCuO₂面を1層のみ含む系として最高レベルの50K級のT_cが得られること、2) この系を多層構造化した(Cu, C)-1223, 1234

が電荷供給層の酸化度制御により非等価なCuO₂面が異なる超伝導状態に凝縮する多成分超伝導の実現に適した電子構造を持つことを明らかにし、続く科学研究費補助金による研究で、3) 超平坦化した(Cu, C)-1201層と無限層構造CaCuO₂とのヘテロ積層化により、界面歪・歪下での成長を導入することで、超伝導臨界温度T_cの大幅な向上[T_c(=0) > 70 K]を達成した。

これらは申請者らが世界に先駆けて達成した高T_c、低成長温度、レアアースレス・無毒性且つ量子ビット材料への発展性を有する超伝導薄膜材料創成の出発点となる成果である。これらを基に、[(Cu, C)-1201]/[MCuO₂] (M: アルカリ土類元素) 積層構造における界面効果の解明、精密構造制御による高T_c化、その均一な発現、実用的作製手法の開発、量子ビットへの展開性の確認を行うことで、高温超伝導の応用への障害を解消する足掛りが得られるものと考えられた。

2. 研究の目的

先行実施した複数の科研費課題で申請者らが独自に見出してきた(Cu, C)Ba₂CuO₂ [(Cu, C)-1201] 高温超伝導薄膜の持つ、レアアース・毒性元素を含まず成長温度が約500℃と高温超伝導体薄膜として著しく低いこと、単層膜での50 K級の超伝導臨界温度T_cを持つこと、類縁の無限層構造銅酸化物とのヘテロ積層構造化により大幅に上昇する[T_c(=0) > 70 K]などの工学・物性両面での特徴を活かした高温超伝導薄膜材料の実現に資するため。本研究は、この(Cu, C)系薄膜を基幹とする積層構造に高度な構造制御を行うことで高T_c・レアアースレス・低成長温度及び新原理量子ビットのプラットフォームとなる高性能超伝導薄膜材料の創成を目的とした。

3. 研究の方法

まず、1) T_c向上の起源である積層構造における界面歪効果について、まず、その上に(Cu, C)-1201層がエピタキシャル成長するとともに自身の面内格子定数を連続的に変化させられる無限層構造バッファ層を開発し、その上に歪み効果が顕著に現れると考えられる厚さ数nmの1201層を堆積し、1201層下側界面における歪み効果を系統的に評価する。続いて、(Cu, C)-1201層上に格子定数の異なる無限層構造層を堆積した構造を作製し、(Cu, C)-1201層の上側界面における歪み効果を評価する。これらにより、組み合わせ物質・格子不整合率の最適範囲を明らかにする。次に、2) 超伝導発現のために最適化された成長条件と、先行研究で明らかにした逐次積層法と構成元素同時供給法の間での成長条件の相関性を活用して、単一ターゲットを用いたパルスレーザー堆積(PLD)等、実的手法による高T_c(Cu, C)薄膜の形成法を確立する。

以上より、独自の(Cu, C)系超伝導薄膜・積層構造を出発点とし、その界面・積層構造の

精密制御による極限特性の発現・均一化及び実用的作製法の開発により、液体窒素温度を超える T_c 、低成長温度、レアアース・毒性元素を含まず且つ新原理デバイス材料への発展性を有するなど、応用・基礎物性の両面で優れた特徴を有する高温超伝導薄膜材料を創成することを試みた。

4. 研究成果

図1に SrTiO_3 (001)単結晶基板の上にパルスレーザー堆積法により成長温度 500°C で c 軸配向エピタキシャル成長させた無限層構造 SrCuO_2 層の(002)面 X 線回折ピークの層厚依存性を示す。層厚の増大により、半値幅の減少と高回折角へのシフトが観測される。 SrTiO_3 基板及び SrCuO_2 厚膜 a 軸長はそれぞれ約 3.90 \AA 、約 3.94 \AA であり、基板との界面近傍の SrCuO_2 層は、格子定数差に起因する面内圧縮応力を受ける。図2に SrCuO_2 層の c 軸長の層厚依存性を示す。層厚 3.8 nm の試料の c 軸長はバルク試料に比べて1%以上伸長しており面内方向が収縮していることが分かる。この c 軸長は層厚増大に伴い、ほぼ連続的にバルク値に近づいている。これらから、無限層構造 SrCuO_2 層が SrTiO_3 (001)面上に c 軸配向歪みエピタキシャル成長し、(Cu, C)-1201 層における歪み効果を系統的に検討するために必要となる面内格子定数の制御が可能なバッファ層であることが確かめられた。

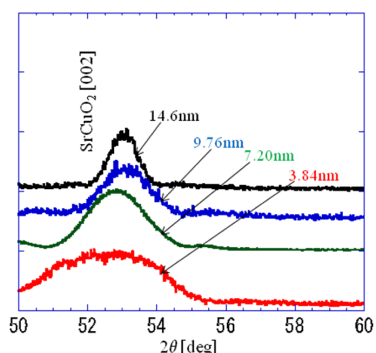


図1 SrTiO_3 (001)基板上に成長温度 500°C で c 軸配向エピタキシャル成長させた無限層構造 SrCuO_2 層の(002)面 XRD ピークの層厚依存性。

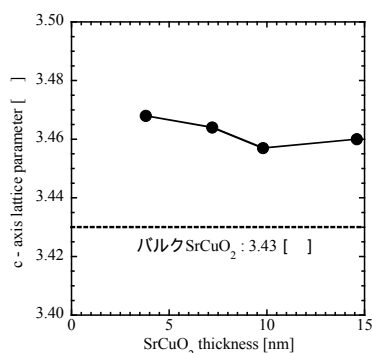


図2 SrTiO_3 (001)単結晶基板の上に成長温度 500°C で c 軸配向エピタキシャル成長させた無限層構造 SrCuO_2 層の c 軸長の層厚依存性。

図3に SrCuO_2 バッファ / SrTiO_3 (001)基板上に形成した層厚 5 nm の(Cu, C)-1201 層の反射高速電子線回折(RHEED)像の SrCuO_2 層厚依存性を示す。 SrTiO_3 基板に直接堆積した試料: 0 nm を除いて、全層厚領域で類似のすとりークパターンが得られており、様々な厚さのバッファ上に(Cu, C)-1201 層が c 軸配向エピタキシャル成長することが確かめられた。

図4に SrCuO_2 バッファ / SrTiO_3 (001)基板上に形成した(Cu, C)-1201 層の抵抗温度特性の SrCuO_2 層厚依存性を、図5に同試料の超伝導転移温度 T_c のバッファ層厚依存性を示す。このときの1201 層厚は歪み効果が顕著に現れると考えられる 5 nm とした。

SrTiO_3 基板上に直接(Cu, C)-1201 層を成長させた場合、抵抗温度特性は半導体的となった。この場合、(Cu, C)-1201 と SrTiO_3 との格子不整合が大きく、ミスフィット転位の発生により界面歪みが緩和され、その結果、(Cu, C)-1201 層のシート抵抗が、超伝導-絶縁体転移の境目となる量子抵抗 $h/(2e)^2 \sim 6.45 \text{ k}$ を上回っているため、超伝導が発現しなかったと考えられる。

層厚 6.2 nm のバッファ層を挿入したときの(Cu, C)-1201 の抵抗温度特性は金属的となり、同時に 35 K 付近で T_c -onset が発現した。バッファ層を挿入することによって、下地との格子不整合度が緩和され、1201 層に圧縮性界面歪みが有効に印可されることで、抵抗温度係数が負から正へクロスオーバーしたと考えられる。バッファ層厚を 8.2 nm に増大させた場合、抵抗温度係数が増大し、 $T_c(=0) = 27 \text{ K}$ が発現し、さらにバッファ層を 12.2 nm まで増大させたとき、 $T_c(=0)$ が 38 K に上昇した。1201 層とバッファ層間の格子不整合はバッファ層が薄い程大きいため、単純に算出される仮想的圧縮性界面歪みはバッファ層厚が小さい程大きくなるが、格子不整合が過大の場合、ミスフィット転位の発生により歪みが緩和されてしまいます。図の変化は、 SrCuO_2 層表面の面内格子定数が増大することによる格子整合度の向上による転移発生の抑制効果による実効的圧縮性界面歪みの

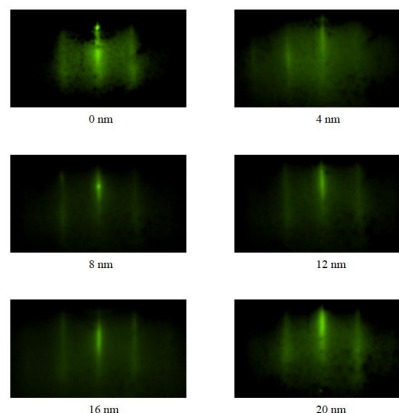


図3 SrCuO_2 バッファ/ SrTiO_3 (001)基板上に形成した層厚 5 nm の(Cu, C)-1201 層の反射高速電子線回折(RHEED)像の SrCuO_2 層厚依存性。

増大が超伝導性を発現させることを示している。一方、バッファ層厚 14~20 nm の試料では、格子不整合が小さく、界面歪み効果の弱体化により 1201 層のキャリア濃度の低下、超伝導特性の劣化が生じたものと考えられる。

先行研究における 1201 層を SrTiO₃ 基板に直接堆積した試料の場合、超伝導性を発現させるには 50~70 nm の層厚が必要であり、その場合でも微細な超伝導ドメインがジョセフソン結合した低臨界電流密度の状態であった。一方、図 4 の結果は 1201 層下側界面を最適化することにより 50 K 級の超伝導特性が 5 nm と、高温超伝導 (Y, Pr)Ba₂Cu₃O_{7-x} 系極薄膜においてすら超伝導-絶縁体転移が起こることが報告されている、極薄領域で発現することを示しており、歪み印加がドメイン成長 = 面内での超伝導特性の均一化に極めて有効であることを示している。

1201 層下側界面の最適化の後、1201 層上に無限層構造 SrCuO₂ を 1201 層に同一成長条件で *in-situ* 連続積層させた 3 層構造を作製し、上部界面における歪み効果を評価した。

図 6 に最上層である SrCuO₂ 層の RHEED 像の層厚依存性を示す。下地 1201 層表面(図中イメージ; 0 nm)と同様のシャープなストリークパターンが全試料で得られており、SrCuO₂ が 1201 層上にエピタキシャル成長し、上記効果の検証の為に適切な材料であることを

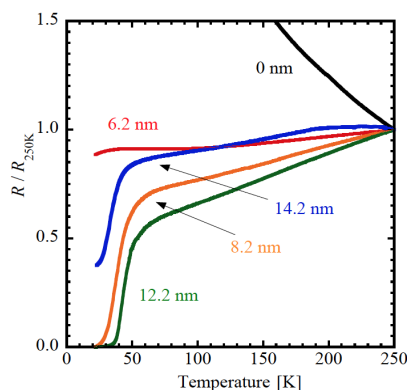


図 4 SrCuO₂ バッファ/SrTiO₃ (001)基板上に形成した層厚 5 nm の(Cu, C)-1201 層の抵抗-温度特性の SrCuO₂ バッファ層厚依存性。

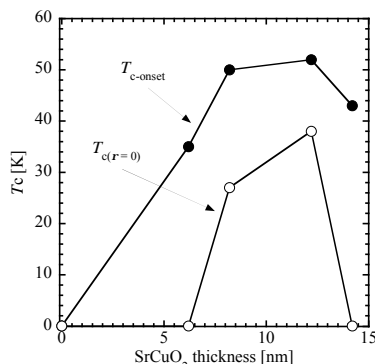


図 5 SrCuO₂ バッファ/SrTiO₃ (001)基板上に形成した層厚 5 nm の(Cu, C)-1201 層の超伝導臨界温度 $T_{c-onset}$, $T_{c(r=0)}$ の SrCuO₂ バッファ層厚依存性。

示している。SrCuO₂ 層が 1201 下地層に対してコヒーレント成長するならば、(Cu, C)-1201 層の面内格子定数に引き込まれながら歪み格子モードで成長するはずである。図 7 に SrCuO₂/(Cu, C)-1201; 5 nm/SrCuO₂; 12 nm/SrTiO₃ (001)試料の SrCuO₂ 最上層の面内格子定数の同層の層厚依存性を示す。バルクの SrCuO₂ の a 軸長は 3.92 Å であり、この値よりも大きい範囲で層厚増大に伴って面内格子定数が縮小してゆくことがわかった。これより、SrCuO₂ 無限層が下地の(Cu, C)-1201 層から弾性歪みを受けながら成長し、層厚の増大に伴い、界面歪みが緩和されてゆく。この結果は、(Cu, C)-1201 層の上部からも成長モードを維持しながら圧縮性の歪みを与えられることを示している。

図 8 に SrCuO₂/(Cu, C)-1201; 5 nm/SrCuO₂; 12 nm/SrTiO₃ (001)試料の抵抗温度特性の SrCuO₂ 最上層厚依存性を示す。層厚が 1.0 nm のとき、2 層構造の場合と比較して、常伝導領域の抵抗温度係数が大きくなるとともに、Tc も向上している。層厚を 2.0 nm に増大させると、さらに伝導特性が向上することが分かる。層厚を大きくすることで、(Cu, C)-1201 層上部に与える圧縮性の歪みが強くなり、キャリアドープが促進されているためと考えられる。一方、層厚を 5.0 nm の試料では常伝導領域の抵抗温度係数が小さくなり、Tc(=0)が低下し、層厚 8.0 nm の試料では、Tc(=0)が消失し、抵抗温度特性が負へ転じている。これは、面内格子不整合が過大となることにより、SrCuO₂/(Cu, C)-1201 上部界面でミスフィット転位が生じているため、劣特性となったものと考えられる。

以上の結果を要するに、1) SrTiO₃ 単結晶上に歪格子モードでエピタキシャル成長する SrCuO₂ 無限層をバッファ層として、(Cu, C)-1201 層/バッファ界面に格子不整合を制御することで、超伝導を担う 1201 層下側界面の圧縮性界面歪みを最適化でき、1201 層厚が約 5 nm と単結晶基板に直接成長した場合と比べて 1/10 以下の極薄層状態で同等の超伝導特性が達成されることが明らかになった。さらに、2) 500 °C 程度と 1201 薄膜と同一

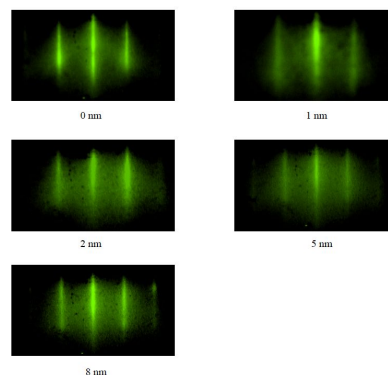


図 6 SrCuO₂/(Cu, C)-1201; 5 nm/SrCuO₂; 12 nm/SrTiO₃ (001)試料の反射高速電子線回折 (RHEED)像の SrCuO₂ 最上層厚依存性。

且つ低い成長温度で 1201 層上部に下部バッファ層と同一の無限層構造 SrCuO₂ 層を 1201 層上にエピタキシャル成長が可能であることであること、このとき、上部 SrCuO₂ 層厚の最適化により試料の電気伝導度の向上させられることが見出された。これは超伝導 (Cu, C)-1201 層の特性を向上させつつ、単一条件で繰り返し積層が可能となることを意味しており、(Cu, C)-1201 層を基幹とする人工積層構造を用いることで、単位幅当たりの臨界電流密度を向上させるために基盤となる手法が確立されたことを意味している。

図9に Cu-Ba-Ca-O 単一ターゲットを用いて形成した膜試料の抵抗温度特性を示す。この堆積方法においては、超伝導性発現のための許容条件範囲が狭いものの、1201 構造と同程度の超伝導性が得られた。

以上により、低成長温度・レアアースレス等の工学的特徴を有する高温超伝導 (Cu, C)-1201 薄膜の超伝導発現にヘテロ界面の界面歪み効果が重要なことを確定するとともに、歪み格子モードでエピタキシャル成長する無限層構造を 1201 層の上部・下部に挿入し、両界面における格子不整合を制御することで、1201 層の伝導特性の向上が達成されることを明らかにした。また、この成長は同一条件で可能であり、この積層構造の人為的繰り返しが応用上重要な単位幅当たりの臨界電流密度を向上させるための有望な手法の一つとして位置づけられる。また、単一ター

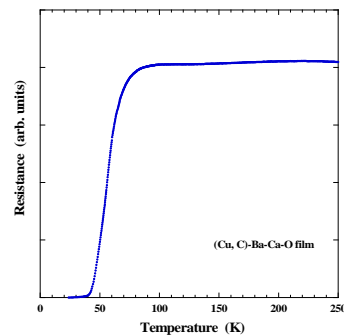


図9 単一ターゲットを用いて形成した(Cu, C)-Ba-Ca-O 薄膜の抵抗-温度特性。

ゲットからの形成された薄膜においても超伝導性の発現に成功し、レアアース・レス超伝導薄膜の実用的作成法開発のための端緒を開くことに成功した。以上により、(Cu, C)-1201 相を基幹とする人工積層構造の制御により、毒性元素を含まず、高臨界温度を有する高温超伝導薄膜材料の創成、実用的形成に向けた基盤技術の確立という本研究課題の目的を達成したと考える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計9件)

Norio Terada, Hideki Morita, Kosuke Chochi, Sho Yoshimoto, Masahiro, Mitsunaga, Shogo Ishizuka, Hajime Shibata, Akimasa Yamada, Koji Matsubara and Shigeru Niki, Characterization of Electronic Structure of Oxysulfide Buffers and Band Alignment at Buffer/Absorber Interfaces in CIGS-based Solar Cells, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 査読有, vol.53, 2014, pp. 05FW09

Masakazu Ito, Naotoshi Kado, Kazuyuki Matsubayashi, Yoshiya Uwatoko, Norio Terada, Shuji Ebisu, Shoichi Nagata, Magnetic properties of spinel CuCrZrS₄ under pressure, *J. Magn. Mater.*, 査読有, vol.331, 2013, pp.98-101

Masakazu Ito, Tatsuya Furuta, Norio Terada, Shuji Ebisu, Shoichi Nagata, Relaxation of magnetization in spinel CuCrZrS₄, *Physica B*, 査読有, vol.407, 2012, pp.1272-1274

Masahiko Hiroi, Iori Yano, Kenta Sezaki, Iduru Shigeta, Masakazu Ito, Hirotaka Manaka, and Norio Terada, Substitution effect on the magnetic transitions of Fe₂MnSi, *Journal of Physics: Conference Series*, 査読有, Vol.400, 2012, pp.032021(1)-032021(4)

Masahiko Hiroi, Haku Ko, Shingo Nakashima, Iduru Shigeta, Masakazu Ito, Hirotaka Manaka, and Norio Terada, Spin-glass and antiferromagnetic transitions in Ru_{2-x}Fe_xCrSi, *Journal of Physics: Conference Series*, 査読有, Vol.400, 2012, pp.032020(1)-032020(4)

N. Terada, A. Kirihara, T. Takahae, Y. Shiota, S. Niki, S. Ishizuka, H. Shibata, A. Yamada and K. Matsubara, CHARACTERIZATION OF BAND ALIGNMENT AT

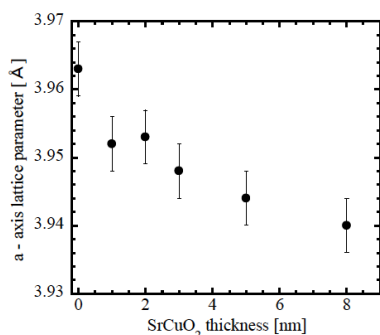


図7 SrCuO₂/(Cu, C)-1201; 5 nm/SrCuO₂; 12 nm/SrTiO₃ (001)試料の SrCuO₂ 最上層の面内格子定数の層厚依存性。

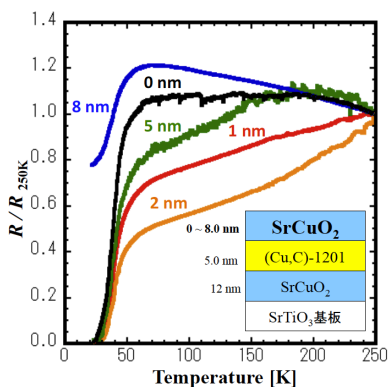


図8 SrCuO₂/(Cu, C)-1201; 5 nm/SrCuO₂; 12 nm/SrTiO₃ (001)試料の抵抗-温度特性の SrCuO₂ 最上層厚依存性。

BUFFER/ABSORBER INTERFACES AND GRAIN BOUNDARIES IN CIGS-BASED SOLAR CELLS, Technical Digest of 21st International Photovoltaic Science and Engineering Conference, 査読有, 2011, pp. 3B-31-01

Masahiko Hiroi, Shingo Nakashima, Kohei Nakao, Tsugumi Rokkaku, Masakazu Ito, Iduru Shigeta, Hirotaka Manaka, Norio Terada, Magnetic Properties of Ru-rich $Ru_{2-x}Fe_xCrZ$ ($Z=Si, Ge$), Journal of Superconductivity and Novel Magnetism, 査読有, Vol.24, 2011, pp.753-756

H. Manaka, T. Etoh, Y. Honda, N. Iwashita, K. Ogata, N. Terada, T. Hisamatsu, M. Ito, Y. Narumi, A. Kondo, K. Kindo, Y. Miura, Effects of Geometrical Spin Frustration on Triangular Spin Tubes Formed in $CsCrF_4$ and $\alpha\text{-KCrF}_4$, Journal of the Physical Society of Japan, 査読有, Vol.80, 2011, pp.084714(1)-084714(11)

Y. Tanaka, T. Yanagisawa, A. Crisan, P. M. Shirage, A. Iyo, K. Tokiwa, T. Nishio, A. Sundaresan, N. Terada, Domains in multiband superconductors, Physica C, 査読有, vol.471, 2011, pp.747-750

[学会発表](計11件)

帖地 宏典, 森田 英揮, 吉本 翔, 福山 貴之, 反保 衆志, 柴田 肇, 松原 浩司, 仁木 栄, 酒井 紀行, 加藤 拓也, 杉本 広紀, 寺田 教男, MBE-CdS/CZTSSe 界面の in-situ PES/IPES 評価; VI 族混晶比依存性, 第 61 回応用物理学会春季学術講演会, 2014 年 03 月 17 日 ~ 2014 年 03 月 20 日, 青山学院大学

酒瀬川 健人, 古賀 慎一, 団 一星, 小原 幸三, 真中 浩貴, 田中 康資, 伊豫 彰, Sundaresan Athinarayanan, 常盤和靖, 寺田 教男, (Cu,C)系超伝導層を基幹とする積層構造における界面歪効果, 第 61 回応用物理学会春季学術講演会, 2014 年 03 月 17 日 ~ 2014 年 03 月 20 日, 青山学院大学

Norio Terada, Hideki Morita, Hironori Chochi, Sho Yoshimoto, Tatsuo Fukano, Shin Tajima, Kazuo Higuchi, Hitoshi Tampo, Hajime Shibata, Koji Matsubara, Shigeru Niki, Study of Effect of Chemical Treatments on Electronic Structure of CZTSSe Surface and CdS/CZTSSe, Interface, 2013 Spring Meeting Materials Research Society, 2013 年 04 月 01 日 ~ 2013 年 09 月 05 日, San Francisco USA

森田 英揮, 帖地 宏典, 吉本 翔, 桐原 彬嘉, 寺田 教男, 柴田 肇, 仁木 栄, Zn(S,O,OH) パツファの電子構造と CIGS 電池特性の関

連性の検討, 第 60 回応用物理学会春季学術講演会, 2013 年 3 月 27 日 ~ 30 日, 神奈川工科大学

寺田 教男, 森田 英揮, 帖地 宏典, 吉本 翔, 桐原 彬嘉, 仁木 栄, 反保 衆志, 柴田 肇, 松原 浩司, 白間 英樹, 杉本 広紀, 加藤 拓也, CZTS 系材料の物性・界面評価 (正・逆光電子分光法による CZTS, CZTSe 光吸収層の電子構造評価), 第 60 回応用物理学会春季学術講演会, 2013 年 3 月 27 日 ~ 30 日, 神奈川工科大学

古賀 慎一, 鈴木 一真, 酒瀬川 健人, 小原 幸三, 真中 浩貴, 田中 康資, 菊池 直人, Sandaresan Anaharayan, 寺田 教男, (Cu, C)-1201 超伝導薄膜の形成 (): 界面歪み効果, 第 60 回応用物理学会春季学術講演会, 2013 年 3 月 27 日 ~ 30 日, 神奈川工科大学

Takayoshi Shiota, Tomoyuki Takada, Yoshiaki Takeuchi, Shinya Nakano, Akira Koga, Kozo Obara, Tetsuji Okuda and Norio Terada, Study of Electric-Potential Profile in Microcrystalline Si Solar Cells by Cross-Sectional of by Kelvin Probe Force Microscopy, 2012 Spring Meeting European Materials Research Society, 2012 年 5 月 14 日 ~ 5 月 18 日, Strasbourg, France

Akiyoshi Kirihara, Takayoshi Shiota, Masanobu Izaki, Shogo Ishizuka, Koji Matsubara, Shigeru Niki and Norio Terada, Characterization of electronic structure Indium oxysulfide and interface between CBD-In(S, O) layer and CIGS, 2012 Spring Meeting European Materials Research Society, 2012 年 5 月 14 日 ~ 5 月 18 日, Strasbourg, France

高八重 太貴, 野村 和也, 桐原 彬喜, 中田 時夫, 伊崎 昌伸, 仁木 栄, 寺田 教男, CBD-Zn(S,O,OH) パツファ層の電子構造の評価, 平成 23 年度応用物理学会九州支部学術講演会, 2011 年 11 月 26 日, 27 日, 鹿児島大学

田原 麻利央, 山元 徹朗, 野瀬 亮平, 河上 奨, 鈴木 一真, 常盤和靖, 伊豫 彰, 田中 康資, 寺田 教男, パツファ層挿入による (Cu, C) 系高温超伝導膜の平坦化・極薄層化, 平成 23 年度応用物理学会九州支部学術講演会, 2011 年 11 月 26 日, 27 日, 鹿児島大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

寺田 教男 (TERADA Norio)
鹿児島大学 理工学研究科 教授
研究者番号: 20322323

(2) 研究分担者

小原 幸三 (OBARA Kozo)
鹿児島大学 理工学研究科 教授
研究者番号: 10094129

奥田 哲治 (OKUDA Tetsuji)
鹿児島大学 理工学研究科 准教授
研究者番号: 20347082