

電気抵抗がゼロという超伝導現象は、固体物理学の対象として極めて興味深いことと同時に、電気電子分野の材料としても魅力的です。超伝導体の工学的な応用は、量子化磁束を取り込む第2種超伝導体の発見に始まる超伝導磁石から、高温超伝導体の発見に始まる超伝導ケーブルまで、新しい超伝導体の発見が超伝導応用の出発点となっています。新しい超伝導体への指針となるのが、結晶構造と元素置換です。高温超伝導体は、物質に応じて多様な結晶構造を取りますが、超伝導転移温度が液体窒素の沸点である 77 ケルビンを超える物質の結晶構造は2種類に区別することができます。ひとつは、イットリウム系超伝導体に代表される単ブロック層構造、もう一つはビスマス系超伝導体に代表される二重ブロック層構造です。超伝導ケーブルへの応用は、異方性の低い単ブロック層構造の方が適しており、高い臨界電流密度を持つケーブルはイットリウム系超伝導体 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ (YBCO) で開発されています。しかしながら、送電ケーブルとして、大量に生産することを考えると、希土類元素は少なく、なるべくユビキタス元素で構成されることが望まれます。そこで、私たちは、同様の結晶構造を持つ $\text{PbSr}_2\text{Y}_{1-x}\text{Ca}_x\text{CuO}_8$ に注目しました。ここで、元素置換の意味を説明すると、 CuO_2 二重層で構成される超伝導層に供給されるキャリアは、他の陽イオンの価数の合計で決まっており、YBCO でブロック層を構成していた Cu と Y に替わって、Pb と Ca が入ります。この物質は、80 K を超える T_c が報告されているものの、単結晶試料が得られていないので異方性が測定されておらず、超伝導材料としての評価が不十分です。私たちは、Two-step 成膜法を用いて SrTiO_3 単結晶基板上にエピタキシャル成長した高品質の薄膜を得ました (図 1)。Ca 濃度 x を変えた試料について電気抵抗の温度依存性を測定した結果

(図 2)、 $x > 0.32$ で超伝導が観測され、最高の $T_c = 66$ K が $x = 0.37$ で得られました。ホール係数の測定から、置換した Ca 原子当たり 0.34 の正孔がキャリアとして有効になっており、置換効果が明瞭に表れています。面内 X 線構造解析の結果より、基板からの面方向伸張歪みが加わっていることが分かり、バルクの値より a 軸長が延びています。この結果、 T_c に大きな影響を与えていると考えられている CuO_2 面と頂点酸素間の距離が縮んでいます。今後は、この距離を伸ばして、 T_c を上昇させることを考えています。また、異方性を評価するために、上部臨界磁場 B_{c2} を ab 面方向と c 軸方向の磁場下で測定しました。異方性はビスマス系超伝導体よりもはるかに小さく、YBCO より若干大きいという結果となりました。今後の詳細な研究によって、 $\text{PbSr}_2\text{Y}_{1-x}\text{Ca}_x\text{CuO}_8$ がユビキタス超伝導体として新しい超伝導応用の可能性を拓いていくことが期待されます。この研究の詳細は実際に実験を進めた博士課程大学院生を筆頭著者として、フィジカル・レビュー誌に最近発表しました (S. Komori *et al.*, Phys. Rev. B, **89** 174509 (2014))。

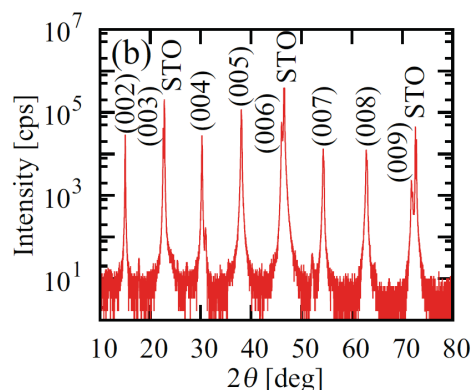


図 1：面間 XRD パターン。不純物相が皆無。

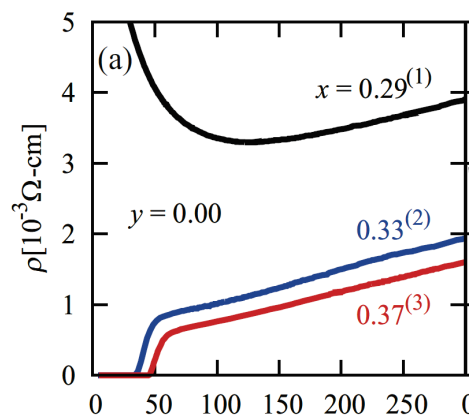


図 2：Ca 濃度を変化させたときの抵抗の温度依存性。