

平成 27 年 6 月 24 日

報道機関 各位

東北大学金属材料研究所

**希土類系高温超伝導線材の
結晶軸を揃えて発現機構にせまる！
-超伝導転移温度が最大となる最適結晶構造を予測-**

【概要】

国立大学法人東北大学金属材料研究所 強磁場超伝導材料研究センター 淡路智准教授・鈴木匠博士（現 九州大助教）・渡辺和雄教授らのグループは、現在実用研究が精力的に行われている希土類系高温超伝導薄膜線材（REBa₂Cu₃O_y 線材，RE は希土類元素及びイットリウム）の 2 軸配向組織¹⁾を、結晶軸を揃えた 3 軸配向組織とすることで、超伝導転移温度²⁾に対する各結晶軸変形の効果をも、広い範囲で測定することに成功しました。その結果、*ab* 面が、室温で 0.385nm 近傍の大きさを持つ正方格子の時に超伝導転移温度が最大となることを示すことができました。これらの結果は、複雑な高温超伝導の発現機構に迫る重要な結果として、6 月 11 日付けの *Scientific Reports* に掲載されました。

【発表のポイント】

1. 実用希土類系高温超伝導線材（市販品）の結晶軸を 3 軸すべて揃えることに成功。
2. *a* 軸と *b* 軸をそれぞれ変形させることにより、超伝導転移温度の変化がべき乗則となることを明らかにした。
3. *ab* 面が 0.385nm 付近の正方格子となる結晶構造で超伝導転移温度が最大となることを予測。

問い合わせ先

東北大学金属材料研究所

担当 淡路 智

電話 022-215-2151

E-mail awaji@imr.tohoku.ac.jp

【詳細な説明】

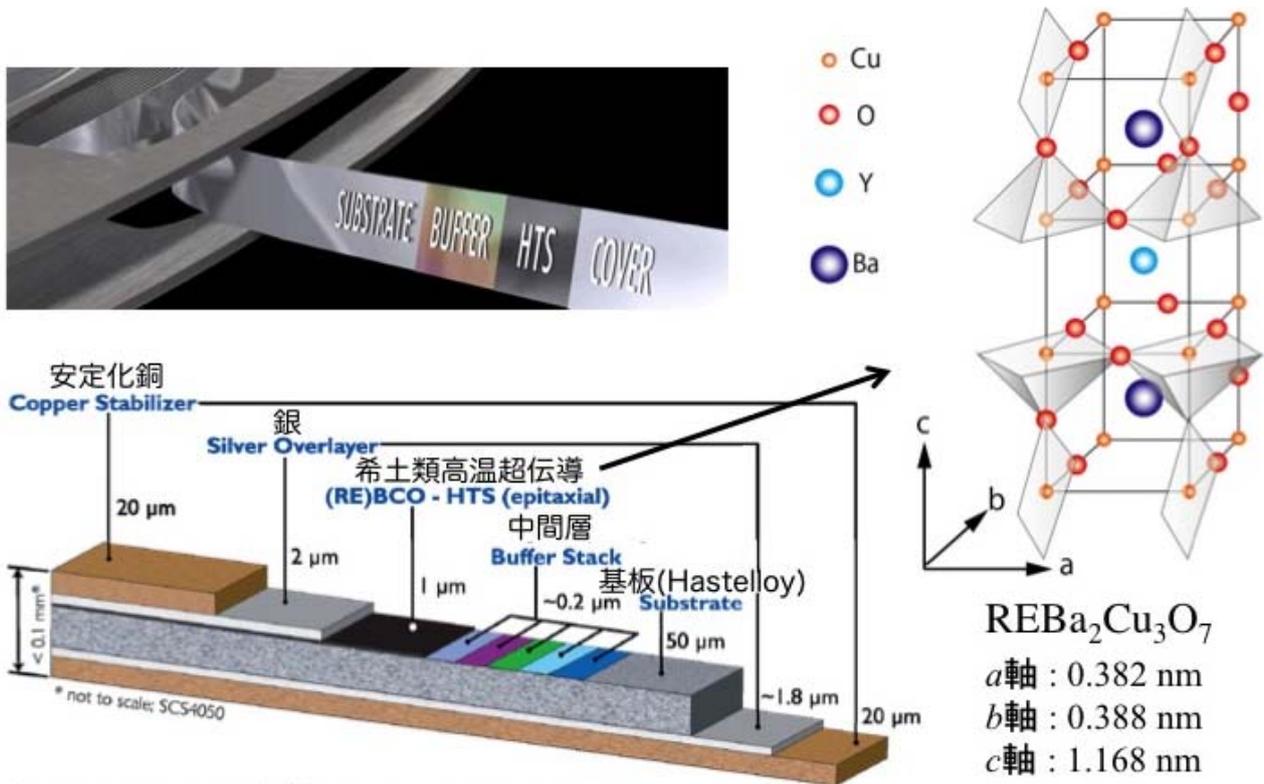
現在市販されている希土類系高温超伝導線材は、図1に示すように結晶軸が揃った薄膜形状をしており、テープ面には結晶の a 軸と b 軸が混ざった2軸配向組織を有していることが知られています(図2左参照)。これまでは2つの結晶軸が混ざった状態であったため、結晶の a 軸と b 軸それぞれが変形した場合の超伝導特性の変化は、複雑で理解が進んでいませんでした。結晶軸が完全に揃った結晶である単結晶を用いた研究では、結晶を大きく変形させると試料が壊れてしまうため、結晶軸変形の影響は、 a 軸と b 軸で反対の挙動を示すことが分かっているのみで、圧縮から引っ張りまでの広範囲における詳細な振る舞いは未解明でした。

今回、図2に示すような応力下で熱処理を行う簡便な方法で、市販品である希土類系高温超伝導薄膜線材の完全配向に成功したことで、広範囲の結晶軸変形の影響を調べることが可能となりました。薄膜線材の場合には、延性のある金属基板上に成膜されているため、試料の損傷なく大きな変形が可能となります。図3は、実際に各結晶軸を変形させた場合の、超伝導転移温度の変化の様子です。図に白丸で表示してあるデータは、単結晶で得られている結果ですが、それと比較して約10倍の大きな変形(ひずみ)まで評価が可能となっていることが分かります。この結果、 a 軸では引っ張り、 b 軸では圧縮の変形を加えることで、実用線材の超伝導転移温度が向上することに成功しました。 a 軸と b 軸の格子変形の効果が逆の振る舞いが見られることは、図3に見られるように単結晶における狭い変形領域で報告されていましたが[1]、加えて両者ともべき乗の振る舞いをするのが新たに分かりました。

この結果を室温の格子定数(結晶の各軸の長さ)に置き換えてみると、図4に示すように**結晶の大きさが0.385 nm付近で超伝導転移温度が最大となる**ことが予想されます。また a 軸と b 軸の比をとると、図5のようにどちらの軸も1で最大となる傾向を示し、**結晶の ab 面が正方形のときに最も高い超伝導転移温度となる**ことも予測することができました。これらの結果は、希土類系高温超伝導における超伝導現象と格子の関係を明確にし、高温超伝導材料の発現機構解明に繋がるものと期待されます。

本成果は6月11日付けの Scientific Reports に掲載されました。

本研究開発は、国立研究開発法人 科学技術振興機構の平成22-27年度戦略的創造研究推進事業 先端的低炭素化技術開発によって援助を受けて実施したものです。



古河SuperPower HPより転載 <http://www.superpower-inc.com/>

図1, 希土類系高温超伝導線材(REBa₂Cu₃O₇, REは希土類元素及びイットリウム)。左上: 実際の希土類系高温超伝導線材の写真, 左下: 希土類系高温超伝導線材構造の模式図, 右: 希土類系高温超伝導材料の結晶構造。

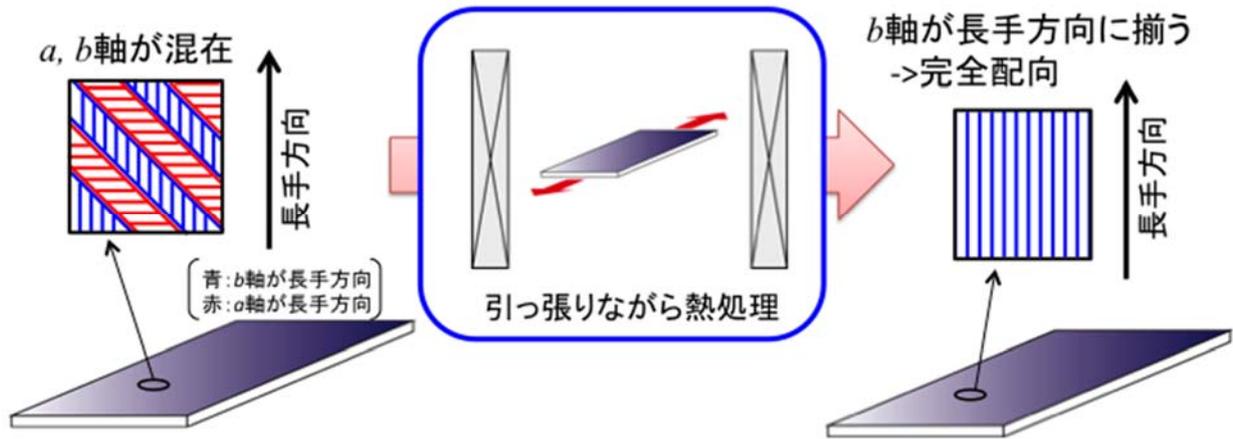


図2, 引っ張り熱処理による結晶軸を揃えるイメージ。

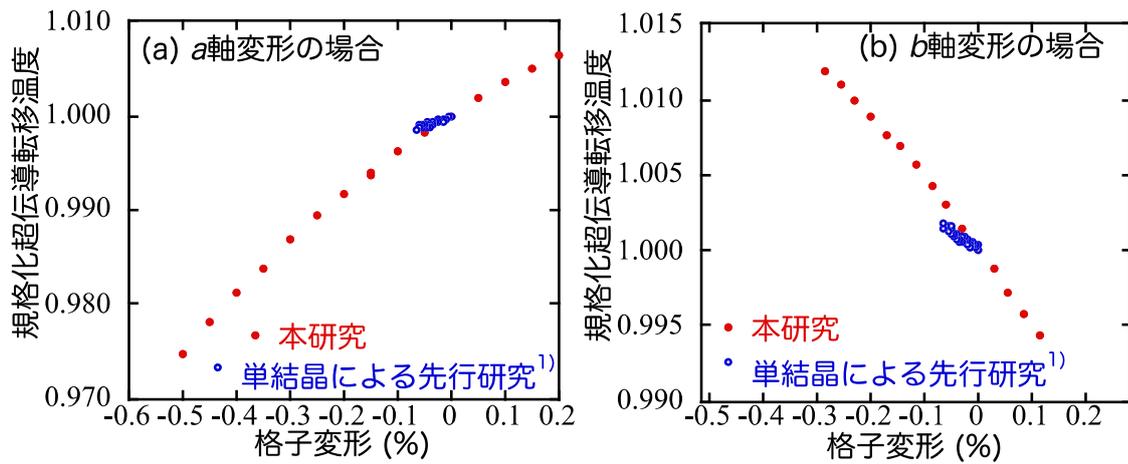


図3, ゼロひずみの値で規格化した超伝導転移温度の各結晶軸変形依存性。図中の白丸は過去に単結晶で報告された結果。本研究により圧縮から引っ張りまで広い範囲で測定ができてることが分かる。格子変形は負が圧縮, 正が引っ張りに相当する。

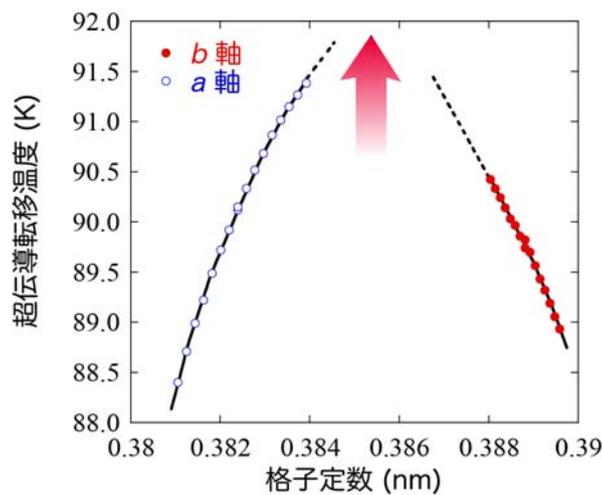


図4, 超伝導転移温度の室温の格子定数依存性。*a* 軸と *b* 軸による超伝導転移温度の変化がどちらも一定の値に向かって伸びている。格子定数の最適値は約 0.385nm 付近と予想される。

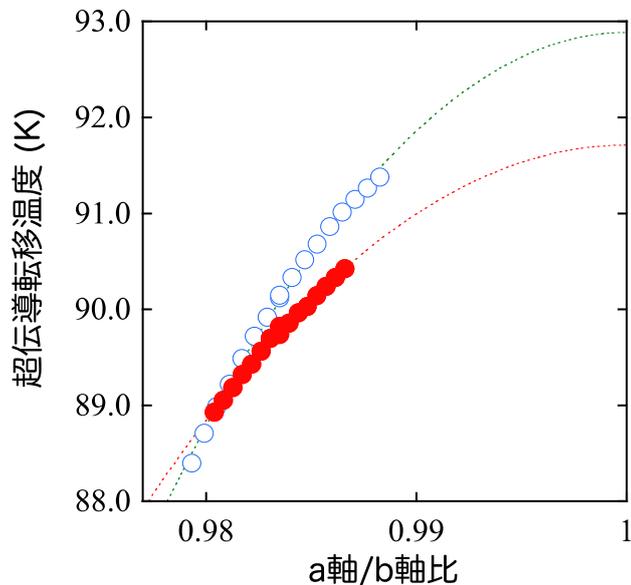


図 5, 超伝導転移温度の a 軸/b 軸比依存性。a 軸/b 軸比が 1 に近づくにつれて超伝導転移温度が最大に近づいている。この結果から、結晶の *ab* 面が正方形に近いことが最大の超伝導転移温度を与えることが示唆される。

掲載論文

タイトル : Strain-controlled critical temperature in REBa₂Cu₃O_y-coated conductors

著者 : S. Awaji, T. Suzuki, H. Oguro, K. Watanabe, K. Matsumoto

掲載誌 : Scientific Reports **5** (2015) 11156 (8pp).

DOI: 10.1038/srep11156

参考文献

[1] Walter H Fietz et al., Supercond. Sci. Technol. 18 (2005) S332–S337.

用語説明

(注)

1) 2 軸配向組織 : 結晶の *c* 軸が基板に垂直, *a* 軸と *b* 軸が基板面内に混在した状態でテープ長手方向と垂直方向に揃っている状態。*a* 軸と *b* 軸が混在して区別がつけられないので, 3 軸ではなく 2 軸配向組織と呼んでいる。3 軸配向は結晶の 3 つの軸がすべて揃った状態であり, 単結晶に近い。

2) 超伝導転移温度 : 超伝導状態になる温度のこと。超伝導転移温度以下まで冷却することで超伝導状態となり, 電気抵抗がゼロとなる。臨界温度とも言う。