

2025年12月22日

報道機関 各位

国立大学法人東北大学

金属ナトリウム蒸気を利用した半導体セラミックスの 低温焼結技術を開発 —従来法よりも 500 °C 低温で相対密度 90%以上を達成—

【発表のポイント】

- チタン酸バリウム (BaTiO_3) の粉末成形体^(注1)を少量の金属ナトリウムと共に加熱すると、緻密な半導体セラミックス (相対密度^(注2) 96%以上) が従来法よりも 500°C 低い、700~800 °C で得られる現象を発見しました。
- 加熱時に発生するナトリウムの蒸気が、遷移金属イオン (Ti^{4+}) の還元と、焼結促進の両方の作用をもたらすことを明らかにしました。

【概要】

チタン酸バリウム (BaTiO_3) は、主要なセラミックス電子材料であり、半導体や誘電体 (絶縁体) として幅広く利用されています。

東北大学多元物質科学研究所の細野新助教と山田高広教授の研究グループは、 BaTiO_3 の粉末成形体を、金属ナトリウム片と共にステンレス鋼製の容器に封入し加熱することにより (図 1)、従来法 (約 1300 °C) よりも大幅に低い 700~800 °C の低温で、電気抵抗率の低下を伴いながら緻密に焼結^(注3)する現象を発見しました。この手法では、ナトリウム蒸気がステンレス鋼製容器内の BaTiO_3 を均一に焼結させるため、一度の加熱処理で 20 個以上のセラミックスを作製することが可能です。さらに、セラミックス中の粒子の形態は加熱条件により制御可能であり、焼結温度と保持時間により粒子のサイズや形状が変化することが分かりました (図 2)。

本研究は、材料の半導体化と焼結を低温で達成することで、セラミックス製造コストの低減につながるとともに、チタン酸バリウム以外の様々な材料の焼結への応用が期待されます。

本研究成果は、2025 年 12 月 16 日付けで、米国セラミックス協会の学術誌 Journal of the American Ceramic Society に掲載されました。

【詳細な説明】

研究の背景と経緯

BaTiO₃等を主成分とする半導体セラミックスは可変抵抗素子^(注4)として広く用いられており、それらの作製には、水素等を含む強還元性雰囲気^(注5)中で、1300 °C以上の高温での焼結処理が必要とされています。細野助教らは、金属ナトリウムがもつ還元性と、窒化ガリウム等の高融点物質の単結晶育成用の溶媒としての機能に着目し、これらを活用して酸化物材料を低温で焼結させる本研究を着想しました。

研究の内容

本研究では、絶縁体であるBaTiO₃の粉末成形体約1~3 gを、金属ナトリウム片約70 mgと共にアルゴン雰囲気下でステンレス鋼製の容器に封入し(図1)、750 °C以上で加熱しました。その結果、高温で発生する金属ナトリウムの蒸気が還元剤および焼結促進剤として機能し、相対密度が96%以上の緻密な導電性セラミックスが作製されました。

本手法におけるセラミックスの焼結現象は、BaTiO₃の粉末粒子がナトリウムの蒸気または液相により還元されて半導体化するとともに、一部が溶解・析出することによって進行したと考えられます。セラミックス中へのナトリウムの混入量は最大でも約0.2重量パーセントと少量で、従来法と比較して、顕著に低い温度で緻密な導電性セラミックスが作製できました。

今後の展開

本手法は、BaTiO₃以外の様々なセラミックス材料の焼結への応用が期待されます。今後は適用する材料を広げながら、詳細な緻密化メカニズムの解明に取り組む予定です。

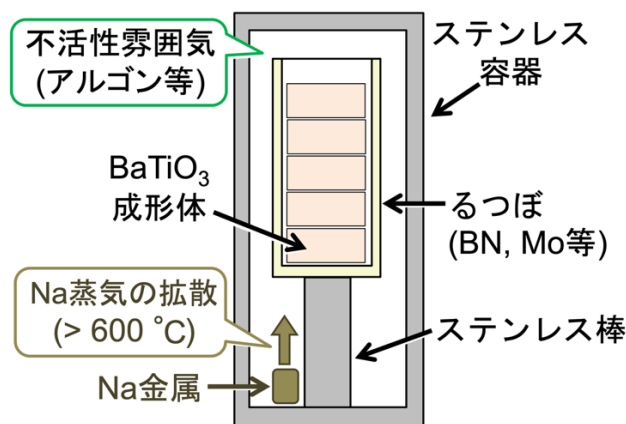


図 1. 焼結実験用の試料容器内の模式図

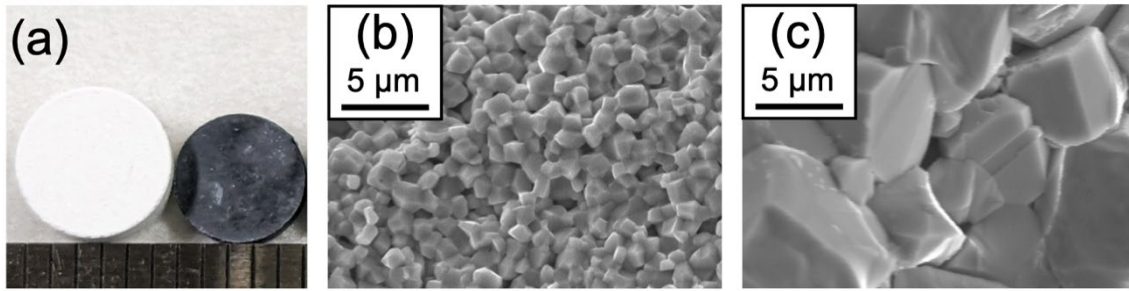


図 2. (a) 焼結前の BaTiO₃ の粉末成形体 (左、直径 6.0 mm) と、ナトリウム蒸気中、800 °C で 2 時間加熱して得たセラミックス (右、直径 5.2 mm) の写真。(b, c) セラミックスの破断面の走査型電子顕微鏡像 (ナトリウム蒸気中、(b) 800 °C、(c) 1000 °C で各 2 時間加熱)。

【謝辞】

本研究の一部は、科研費 (JP24K23095)、泉科学技術振興財団及び文部科学省マテリアル先端リサーチインフラ (JPMXP1224TU0160) の助成を受けました。

【用語説明】

- 注1. 粉末成形体：加圧により、粉末を所望の形状に成形したもの。
- 注2. 相対密度：セラミックス等の緻密さを示す指標。空隙がまったく無い場合の相対密度は 100%。
- 注3. 焼結：セラミックスや金属の粉末を緻密に焼き固めるプロセス。
- 注4. 可変抵抗素子：電場や温度等の環境の変化により、電気抵抗率が大幅に変化する材料。
- 注5. 還元性：他の物質から酸素を奪い、電子を与える性質のこと。本研究では絶縁体である BaTiO₃ が、ナトリウムの還元性によって半導体に変化した。

【論文情報】

タイトル：Low-temperature sintering of BaTiO₃-based semiconducting ceramics using sodium vapor

著者：細野 新*、山田 高広

*責任著者：東北大学 多元物質科学研究所 助教 細野 新

掲載誌：Journal of the American Ceramic Society

DOI：10.1111/jace.70468

URL: <https://ceramics.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jace.70468>

【問い合わせ先】

（研究に関すること）

東北大学 多元物質科学研究所

助教 細野 新（ほその あきら）

TEL: 022-217-5814

Email: akira.hosono.a7@tohoku.ac.jp

（報道に関すること）

東北大学 多元物質科学研究所 広報情報室

TEL: 022-217-5198

Email: press.tagen@grp.tohoku.ac.jp