

ここで取り上げる圧電性とは、物質に圧力をかけ歪めると電圧を発生したり、逆に電圧をかけると物質が歪む性質を言う。圧電性を持つ物質のことを圧電体と呼び、古くから魚群探知機、医療用超音波エコー、AE 計測などの素子として、またライター等の着火材などとして広く使われてきた。近年では、ナノテク用アクチュエーター、液晶のバックライト用圧電トランス、超小型の圧電モーター、インクジェットプリンター用ノズルヘッドなどとして、さらなる広がりを見せている。しかしながら、圧電材料の多くは鉛を含む PZT 系 ( $\text{PbTiO}_3$  と  $\text{PbZrO}_3$  の混晶) 物質である。

近年ヨーロッパでは、電気・電子機器に含まれる特定有害物質に関する規制が始まり、2006 年 7 月には RoHS 指令 (Restriction of Hazardous Substances) が施行された。鉛、水銀、カドミウム、六価クロム、ポリ臭化ビフェニル (PBB)、ポリ臭化ジフェニルエーテル (PBDE) の 6 物質が規制の対象とされ、構成部材での含有量を基準値以下にすることが義務づけられている。更に、2007 年 6 月から、REACH (Registration, Evaluation and Authorization of Chemicals) 規則が施行予定で、約 3 万種類の化学物質について「登録、評価、認可」が必要となる。今のところ、圧電材料については代替物質がないという理由で、鉛を含む PZT 系の材料の使用が認められている。しかし、電気・電子機器の鉛フリー化は時代の趨勢であり、鉛フリーな圧電材料の開発は世界的規模で精力的に進められている。

我々が注目したのは、少なくとも 7 種以上存在する Ba-Ti 系酸化物である。特にチタン酸バリウム ( $\text{BaTiO}_3$ ) は圧電体の代表的物質であるが、圧電性が転移温度  $T_c=120$  の比較的低温で消失することから、PZT 系に置き換えられていった歴史がある。現在は、積層セラミックコンデンサーや PTC サーミスターなどとして広く利用されており、電子機器の小型化のためにはなくてはならない存在であり、シリコンと並び称される電子材料の一つと言っても過言でない。我々は、2003 年に、この Ba-Ti 系酸化物で新たな強誘電・圧電物質  $\text{BaTi}_2\text{O}_5$  を見出し、特許申請を行った。 $\text{BaTi}_2\text{O}_5$  の結晶構造を図 1 に示す。この新規チタン酸バリウム  $\text{BaTi}_2\text{O}_5$  は、 $\text{BaTiO}_3$  に比べて、転移温度  $T_c$  が 470 と高く、誘電率も 2.5 倍ほど大きく、また誘電損失は 500 の高温でも 0.1 以下と小さいままであり、 $\text{BaTiO}_3$  に優る応用的可能性を秘めている。第一原理計算からは、 $\text{BaTi}_2\text{O}_5$  の圧電定数は  $\text{PbTiO}_3$  と同程度に大きいことが指摘された。しかし、この物質は、1150 以上で、 $\text{BaTiO}_3$  と  $\text{Ba}_6\text{Ti}_{17}\text{O}_{40}$  分解するため、急冷法で 1mm 弱の針状単結晶しか得られておらず、また通常の固相反応によるセラミックスの合成も困難であった。

我々はこれらの応用上の難題を克服するため、赤外線加熱を用いた溶融帯法による結晶育成を試み、急冷法の 5 倍近い大きさの単結晶を得ることができた。また、金属アルコキッドを原料としたゾル・ゲル法で前駆体ゲルを作製し、650 の低温で焼成することで、 $\text{BaTi}_2\text{O}_5$  のナノ粒子 (粒径 20-50nm) の合成に成功した。このナノ粒子を用いて、1000 で放電プラズマ焼結し、相対密度 95% 以上の緻密セラミックスを作製した。また、ゲル状前駆体をアルコールに分散させ石英ガラス基板に塗布した後 600-800 で焼成することで、 $\text{BaTi}_2\text{O}_5$  透明薄膜を作製することができた。この薄膜は、圧電性だけでなく、紫外線による光触媒効果や電気光学効果などの機能性を有した膜であるので、今後の応用研究が期待される。こうしたゾル・ゲル法によるプロセス、および作製したセラミックスと薄膜を図 2 に示す。

この研究に関連して、村田学術振興財団、中国電力技術研究財団、ちゅうごく産業創造センター、科学技術振興機構 JST、日本学術振興会 JSPS から、研究補助金を頂いた。現在、複数の民間企業との共同研究も進みつつある。製品化への道のりはまだまだ遠いが、我々が見出した新規チタン酸バリウムが、鉛系圧電材料の代替材料になることを夢見て、現在研究を続けている。詳しくは、当研究室のホームページをご覧ください。

( <http://physics.edu.shimane-u.ac.jp> )

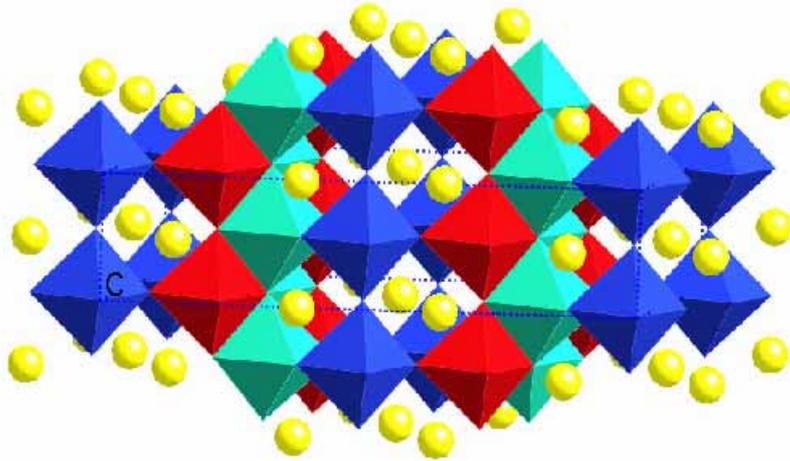


図1 . 新規チタン酸バリウム BaTi<sub>2</sub>O<sub>5</sub> の結晶構造：丸がバリウム、各八面体の頂点に酸素、中心にチタン。結晶学的に非等価な3種類の TiO<sub>6</sub> 酸素八面体を色分けしている。

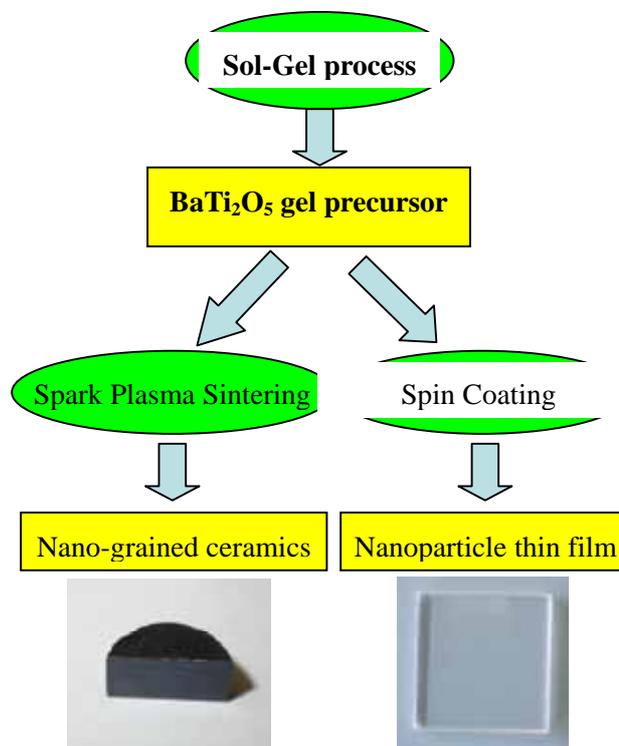


図2. ゾル・ゲル法を用いて BaTi<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ナノ微粒子を作製し、それを用いて作製したセラミックス(左)と石英ガラスの上に載せた透明薄膜(右)。セラミックスの色が黒いのは還元されているため、酸素中での熱処理後、白くなる。