

機能性材料の作製とその特性評価

～～ 実験実習: 「圧電素子の作製と評価」 ～～

1. 圧電材料の紹介 編

平成 16 年 4 月 16 日 奈良先端科学技術大学院大学

物質創成科学研究科 演算・記憶素子科学講座

当講座では各種の機能性材料について研究を行っています。今回の実習で扱う「圧電材料」もその中のひとつです。まず、本編でそれら材料について簡単に紹介します。なお、実験などでわからないことがありましたら遠慮なく身近のスタッフに質問してください。

1.1 はじめに ～当講座で研究している材料(強誘電材料、圧電材料、焦電材料)～

携帯電話やゲーム機、パソコンなどの電子機器の中には多くの(電子)部品が入っています。これらの部品(素子といいます)では多種多様な材料が研究され利用されています。代表的なものは半導体、(電子)セラミクス、プラスチック等ですが、当研究室では電子セラミクス関連の材料の研究をしています。この電子セラミクス材料には**電気と力、熱、分極**(電荷)を相互に変換する能力(機能)があり、その機能を活用して電子部品を実現しています。その概要を模式図にして図.1.1 にまとめてみました。

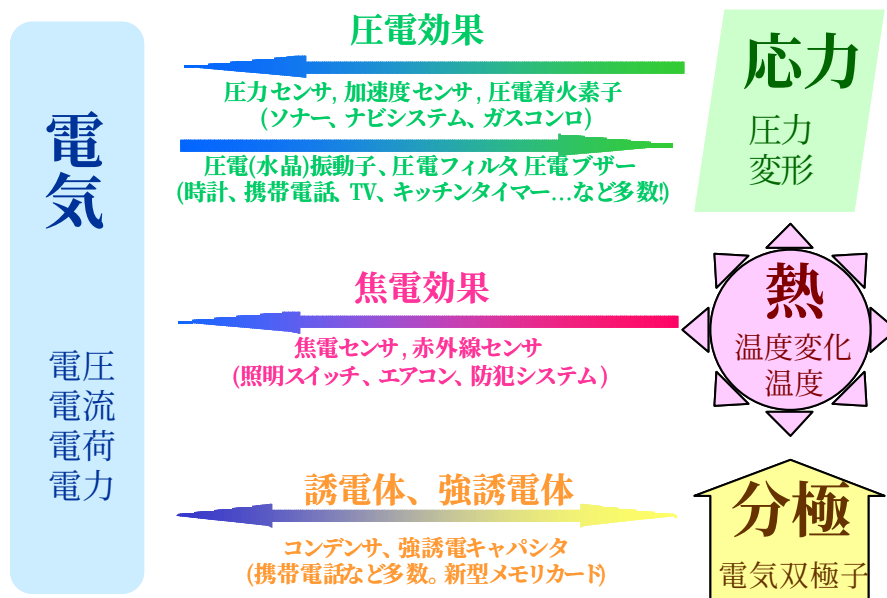


図.1.1 電子セラミクスが有する機能の模式図

これらの中でも圧電効果はとりわけ広く利用されています。身近には圧電効果による振

動と共振現象を利用した**水晶振動子**(図.1.2)は正確な時間(周波数)を作るためほとんどの電子機器で必要不可欠です。キッチンタイマーや家電製品などの電子音には**圧電ブザー**(図.1.3)が使われています。ガスコンロや電子ライターでは**圧電着火素子**(図.1.4)で火花を作って着火しています。これは、ボタンを「カチッ」と押したときにハンマーでセラミクスを強い衝撃を加えるようになっており、圧電効果で高電圧が、つまり火花が発生します。ここではこの圧電効果と材料を取り上げます。



図.1.2 水晶振動子

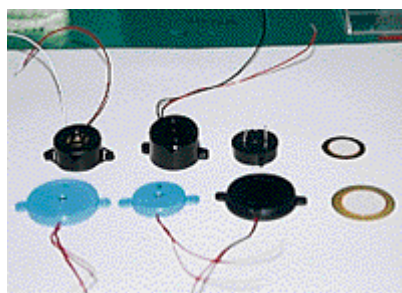


図.1.3 圧電ブザー



図.1.4 圧電着火素子

1.2 材料の生成と形態 ～セラミクス、単結晶、薄膜～

電子セラミクスなどに用いられる電子材料は主に(金属)酸化物です。古くは水晶(α - SiO_2), ロッセル塩($\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), その後、より高性能な BaTiO_3 , $\text{Pb}(\text{Ti}, \text{Zr})\text{O}_3$ 材料が使われるようになりました。(チタバリ, PZT と通称されています) そのほか、 LiNbO_3 , ZnO など現在ではさらに多くの種類の材料が発見され、実用化が進められています。

これらの材料はミクロに見ると、たとえば図.1.5 のような結晶構造を持ち、金属イオン、酸素イオンが整然と配列した構造になっています。電圧や圧力、熱を加えるとこれらイオン(電荷)が動くことで、つまりイオンを介して相互作用がおきます。これが材料の持つ変換機能のメカニズムです。

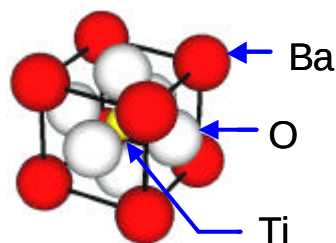


図.1.5 BaTiO_3 の結晶構造(ペロブスカイト構造)

これらの酸化物材料を「部品」にする際には、粉末原料を焼き固めて(焼成と呼ばれています) **セラミクス**(図.1.6)にして用いることが一般的です。セラミクスは安価かつ大量に製造できます。顕微鏡で見るとセラミクスは細かな結晶の集まり(多結晶)になっていることがわかります。しかし、特に高品質、高性能を求めるために全体が 1 つの結晶のかたまりつまり**単結晶**(図.1.7)として用いる場合もあります。また最近はごく薄い膜にして、別の材料の上に付着させた**薄膜**(図.1.8)も研究されています。これは他の材料と一体化することで性能向上を狙ったり、ナノテクノロジーへの利用ということで盛んに研究されています。



図.1.6 セラミクス(PZT)



図.1.7 単結晶(水晶)

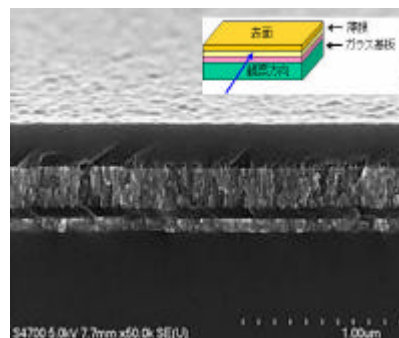


図.1.8 薄膜 (断面 電子顕微鏡)

1.3 圧電効果 ～簡単な説明～

簡単な説明図を図.1.9 に載せます。圧電材料の上面・下面に(金属)電極をつけて圧力を加えると電極に電圧が発生します。逆に電極に電圧を加えると材料が伸び縮みします。

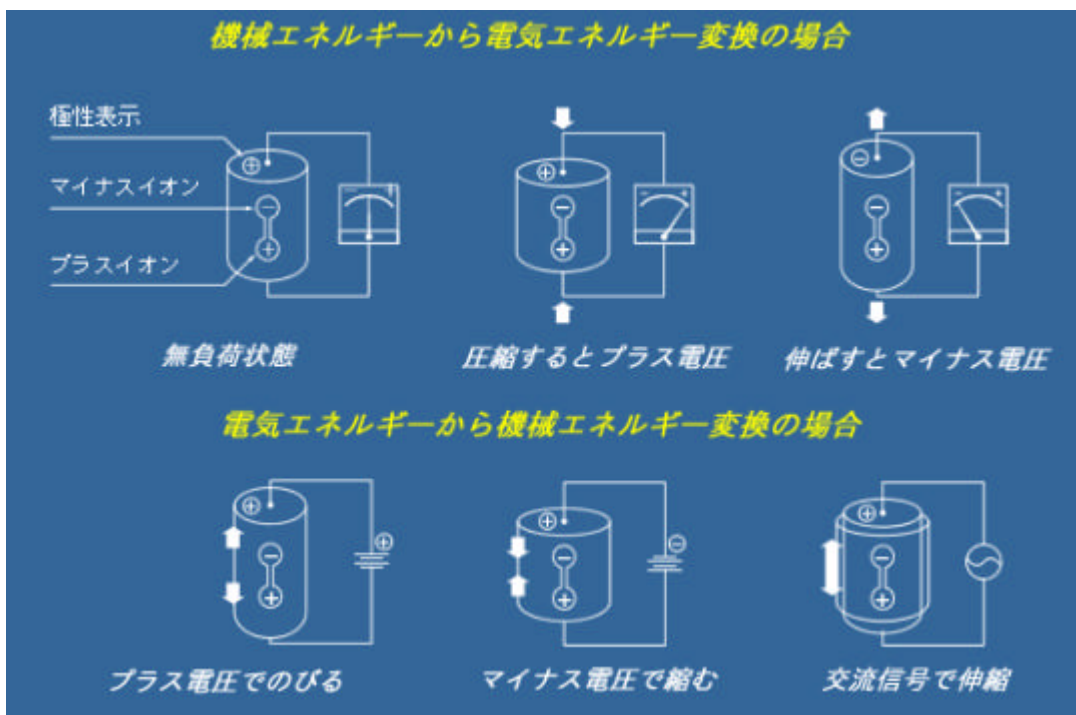


図.1.9 圧電効果の概要図 (富士セラミクス様のサイトより)

1.4 圧電効果の理論 ～圧電方程式と圧電振動～

実際の素子特性など、圧電効果の工学的な理論は別紙資料(第 5 版 実験化学講座 7 電気電子物性 第 7 章より)を添付しますのでご参照ください。また、材料物性などミクロな理論については本稿末の参考文献をあたってください。(書籍は研究室にてお貸しできます)

1.5 圧電材料の現状と将来 ～新材料・素子の創成～

電子セラミックス分野では日本は世界をリードしてきました。わが国には多くのトップメーカーがひしめいていることや、電子セラミックス材料(チタバリ)の発見が日本・米国・ロシアでほぼ同時期でなされていることからそれがわかります。これは全国各地で代々受け継がれてきた名産陶器(焼き物)の伝統のおかげなのかもしれません。

そのような背景もあり、圧電材料・素子の研究開発はわが国を中心に活発になされてきましたが、このところの小型・高性能化への期待には著しいものがあります。最近の携帯電話やパソコンの発展からもそれが伺えます。

そこで、従来とはまったく異なる材料、製造法、加工法、設計手法が必要になってきます。そのため今後も一層の研究開発が進むと思います。紙面の都合上、数例ですが、近年のトピックを紹介します。応用に近い(つまり身近な)順に並べてあります。

(1) 各種圧電素子の研究開発 (圧電トランス、圧電ジャイロ)

複雑な機構・構造を持ったユニットを、機能性材料の圧電材料を用いると単純な構造で実現できます。結果として、小型化や信頼性の向上さらにコストダウンができます。代表例として圧電トランスと圧電ジャイロがあります。図1.10に模式図を示します。これら素子は圧電効果による共振振動を利用することで、効率的に力学-電気エネルギーの相互変換を行っています。圧電トランスは高電圧を作るのに適し、ノートパソコンのバックライトの電源に使われています。圧電ジャイロは物体の回転運動(角速度)のセンサで、カーナビ(車体の回転検知)やデジタルビデオ(手ぶれ防止センサ)に利用されています。これらは旧来、電磁誘導による変圧器や機械式のジャイロが用いられていましたが、圧電材料により格段に小型化しました。しかし、実現には材料や設計の最適化が必須でノウハウになっており、現在も研究が続いています。

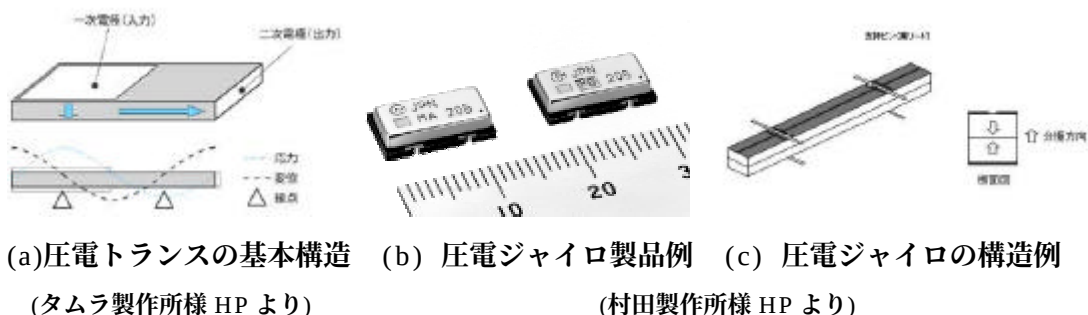
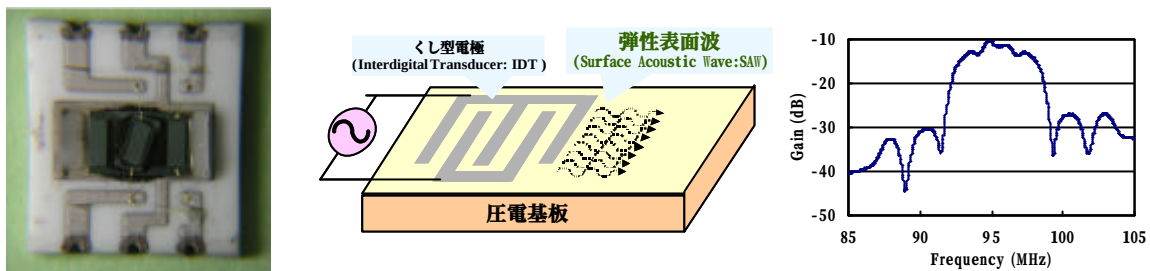


図 1.10 圧電材料を活用した素子

(2) 通信用フィルタ素子の研究開発 (圧電共振子、弾性表面波フィルタ)

携帯電話やテレビなどの通信機器では通信周波数の選択のために多数の周波数フィルタが用いられています。これは、圧電振動の共振現象や伝搬特性を利用して周波数選択性を持たせた素子です。例を図 1.11 に示します。近年は通信容量が増加の一途をたどっていますので、フィルタにはより高性能な圧電材料が使われるようになっていますが既存の材料では限界に近づきつつあります。

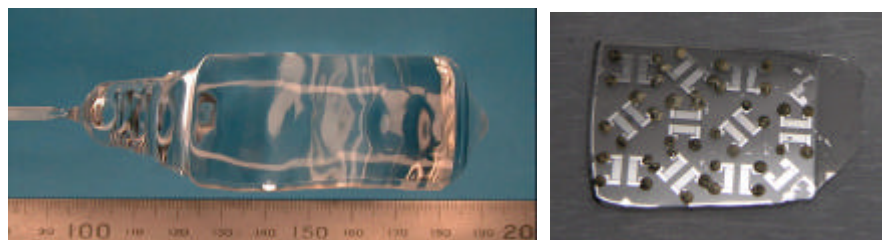


(a) 弾性表面波フィルタ (b) 弾性表面波フィルタの原理 (c) 弾性表面波フィルタの特性

図 1.11 弾性表面波フィルタの例

(3) 新規材料(結晶)の探索 (新材料による特性向上)

前項目とも関連しますが、特性向上のために様々な新規材料が作製・検討されています。例ですが、最近ではランガサイト ($\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$) とか、カルシウムオキソボレート系結晶(図 1.12)などがあります。新材料の研究では作製条件の最適化や材料特性の詳細な調査が主な課題です。近年ではコンピュータシミュレーションによる物性解析・予測も利用できるようになりつつあります。



(a) 新材料 GdCOB の単結晶 (b) 結晶片による素子作製

図 1.12 カルシウムオキソボレート系新材料の作製と評価

(4) マイクロマシンングへの応用 (微細圧電素子の実現)

強誘電体薄膜メモリ実現のため強誘電(圧電)材料の薄膜作製と半導体との一体化が活発に研究されましたが、これによって品質の良い圧電膜が得られるようにもなりました。(強誘電体薄膜メモリについては後記の参考文献) そのため、マイクロマシンへの利用も検討されています。通常、圧電効果による変位は微小 (μm 以下) ですので、前述の素子では振動や共振など波動として利用していましたが、このマイクロマシンの場合は静的な変位が十分利用できます。もちろん、そのための構造の工夫や加工法が課題になります。

例を図 1.13 に示します。図でバー上になっているのは金属/圧電体/金属積層構造です。電圧を加えるとバーがたわんで、バー下部の電極に接触します。つまり、微小なスイッチ(リレー)になっています。

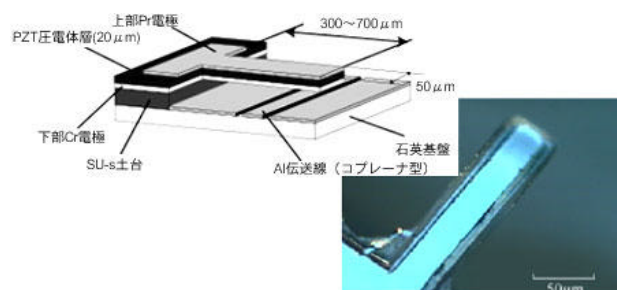


図 1.13 マイクロマシンングへの圧電体の応用
(京都大学 小寺研 HP より)

(5) ナノ領域の圧電物性

上の圧電の薄膜作製とも関連していますが、最近はナノスケールでの圧電材料の微細化や微小領域の特性にまで興味が及ぶようになりました。この領域になると強誘電性や圧電性の発現機構や物性があらわになってきますので、物性研究の点では大変おもしろい現象が多くみられます。さらに、微小領域の制御(分極の書き込み)まで試みられています。図 1.14 に研究例を示します。この例では、数十 nm のサイズで分極の書き込みを行っており、記録密度に換算しますと 1Tbit/inch²に及びます。研究としては未知の部分もかなりあり検討事項も多いのですが、当面は微細部の観測手法の確立と微細加工法の向上が主要な課題です。

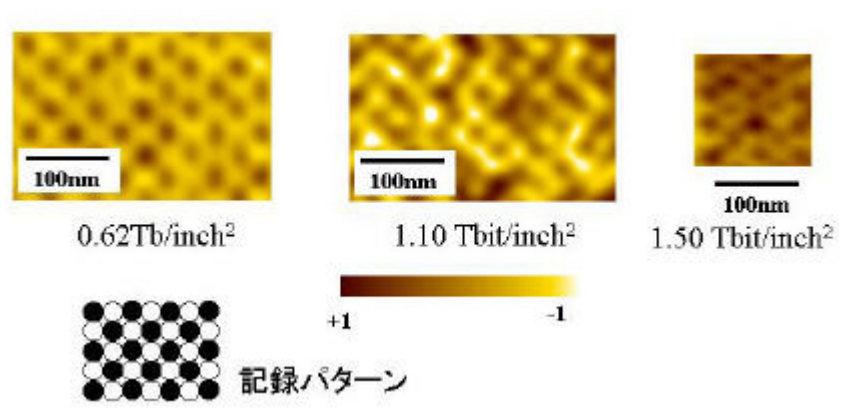


図 1.14 微小領域に書き込んだ分極パターン (東北大 長研究室 HP より)

1.6 本日のスケジュール ～圧電素子の作製と評価～

今回の実習では、まず実際に圧電材料(圧電薄膜)の作製を行います。さらに、今回得られた圧電材料・素子および市販品などの既製の圧電(素子)材料を使ったいろいろな実験から、圧電効果の確認と特性評価を行います。

実験の手順は「圧電素子の作製 編」、「圧電素子の特性評価 編」で説明します。なお、時間割は図 1.15, 図 1.16 のとおりです。圧電素子の作製では装置の加熱・冷却など待ち時間が長いので、その間に、概要の説明と圧電効果の評価・観察を行います。少し大変ですが、がんばって実験しましょう。

1.7 参考文献 ～電子セラミクスなどの機能性材料をもっと知りたい人へ～

興味がありましたらこれらの文献をあたってみてください。

- (1) 岡崎 清 編著 「電子セラミックスへの招待」 森北出版 ISBN4-627-94160-9.

電子セラミクスについてわかりやすく紹介されています。(必要でしたらお貸します。)

- (2) 川合 知二 編著 「消えない IC メモリー FRAM のすべて」 工業調査会 ISBN4-7693-1147-8

最近の強誘電薄膜のトピックである FeRAM(強誘電メモリ)の入門本です。

(3) 塩 嵩 忠 著 「電気電子材料」 共立出版 ISBN4-320-08581-7

セラミクス、半導体も含めた電子材料全般の教科書で、しっかりした内容でわかりやすく書かれています。

Ver 0.1: 2004/4/16 by Takashi Nishida

tnishida@ms.naist.jp

	圧電材料の評価	圧電材料の作製
09:00		
	9:20 あいさつ 概要説明 1 (概要)	
		9:40 試料セット(20分)
10:00	概要説明 2 (薄膜作製)	10:00 真空引き(15分)
	概要説明 3 (薄膜作製)	10:15 プリスパッタ (15分)
		10:30
11:00	概要説明 4 (材料評価)	スパッタ (60分)
	評価 +圧電効果の確認(1) +圧電効果の確認(2) +圧電効果の確認(3)	
12:00	実験が済んだら、手引きのインピーダンス測定箇所を 読んでおいてください。 休憩は適宜	11:30 冷却 (120分)
12:30		

色は実験場所
を示します。

- ゼ 達 (F509室)
- 電特評価室 (F514室)
- 大型装置室 (F519室)
- 大型装置室
操作はスタッフ (F519室)

図.1.15 実験実習スケジュール (午前)

	圧電材料の評価	圧電材料の作製
13:30		13:30 取出 金電極形成 (30分)
14:00		
	概要説明 5 (インピーダンス測定)	
15:00	実習 ・インピーダンス測定 + 素子の測定 + 誘電損失の測定 + 測定値の変換 + 共振現象の測定 ・圧電効果の確認 (4) ・測定結果の印刷と整理	
16:00	休憩は適宜	
17:00		

色は実験場所を示します。

-  ゼミ室 (F509室)
-  電特評価室 (F514室)
-  大型装置室 (F519室)
-  大型装置室 操作はスタッフ (F519室)

図.1.16 実験実習スケジュール (午後)